

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Návrh nevýbušné  
rychlospojky 1000 V, 200 A.**

**Non - explosive quick coupling  
design 1000 V, 200 A.**

2014

Bc. Pavel Pečínka

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Pečínka**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika  
Téma: **Návrh nevýbušné rychlospojky 1000V, 200A.  
Non - explosive Quick Coupling Design.**

Zásady pro vypracování:

Elektrozařízení pro prostředí s nebezpečím výbuchu.

Rychlospojky, popis, konstrukce, dělení.

Návrh rychlospojky 1000V/200A, konstrukce, tepelný a izolační výpočet.

Namodelování a kontrola navržené spojky pomocí MKP.

Seznam doporučené odborné literatury:

Podle pokynů vedoucího diplomové práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Bernat, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## ***Prohlášení:***

*„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“*

*Ve Lhotce dne 30. 4. 2014*



.....  
*Bc. Pavel Pečínka*

## ***Moje poděkování:***

*Touto cestou bych chtěl poděkovat Ing. Petru Bernatovi, Ph.D., Ing. Zdeňku Hytkovi, CSc., Ing. Petru Kačorovi, Ph.D. z katedry elektroenergetiky a Ing. Oldřichu Novákovi ze společnosti OKD, a.s. za pomoc při zpracování diplomové práce, předání znalostí a odborné vedení.*

## **Abstrakt:**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem nevýbušné kabelové rychlospojky, která je určena do prostředí hlubinných dolů. Návrh je zaměřen na elektrickou část zařízení. Úvodní teoretické kapitoly jsou zaměřeny na teorii týkající se výbuchu, rozdělení výbušných atmosfér a způsoby používaných ochran před výbuchem. Dále následuje kapitola, kde jsou popsány a rozebrány vlastnosti již existujících a používaných rychlospojek. Poté je již řešen samotný návrh a výpočet. Výpočet je pak dále překontrolován především s ohledem na silové účinky poruchového proudu a s ohledem na tepelné účinky. Poslední kapitola se zabývá ověřením správnosti návrhu pomocí modelování s využitím metody konečných prvků.

## **Klíčová slova:**

Kontakt, model, nevýbušná rychlospojka, ochrana, oteplení, stykový odpor, tepelná síť, výbuch, výbušná atmosféra.

## **Abstract:**

This thesis deals with the design of Non-explosive quick coupler which is designed for environments of underground mines. The design is focused on the electrical part of the device. The theoretical chapters are focused on the theory of the explosion, a division of explosive atmospheres and methods used in explosion protection. The following chapter describes and analyzes the properties of already existing and used quick couplers. Thesis includes solution of the design and calculation. The calculation is further checked primarily with respect to the force effects of fault current with respect to the thermal effects. The last chapter deals with the verification of the correctness of the design with modeling using finite element method.

## **Key words:**

Contact, Model, Non-explosive quick Coupler, Protection, Temperature rise, Contact resistance, Temperature grid, Explosion, Explosive atmosphere.

## Seznam použitých symbolů a zkratek:

Zkratka	Název	Jednotka
$a$	Vzdálenost mezi vodiči	(mm)
	Šířka připojovacího místa bez šroubu	(mm)
$b$	Tloušťka nože	(mm)
	Šířka připojovacího místa	(mm)
$c$	Koeficient respektující zatížení sítě	(-)
$D$	Průměr přívodního vodiče	(-)
$d$	Průměr	(mm)
	Průměr úžiny	(mm)
$d'$	Předběžný průměr	(mm)
$F$	Síla	(N)
$F_1$	Síla působící ve vzdálenosti 1	(N)
$F_2$	Síla působící ve vzdálenosti 2	(N)
$F_A$	Síla působící v bodě A	(N)
$F_B$	Síla působící v bodě B	(N)
$F_c$	Celková přitlačná síla na kontakt	(N)
$F_D$	Síla záhybu proudovodné dráhy	(N)
$F_k$	Přítlačná síla	(N)
$F_{k1}$	Minimální přítlačná síla na mezi měknutí	(N)
$F_{k2}$	Minimální přítlačná síla na mezi svaření	(N)
$F_p$	Síla vyvozená talířovou pružinou	(N)
$F_p$	Síla mezi dvěma vodiči	(N)
$F_u$	Síla úžiny	(N)
$F_{uA}$	Síla úžiny v bodě A	(N)
$F_{uB}$	Síla úžiny v bodě B	(N)
$H$	Tvrdost	(MPa)
$h$	Šířka nože	(mm)
$I_k$	Zkratový proud	(kA)
$I_n$	Jmenovitý proud	(A)
$I_{KM}$	Nárazový zkratový proud	(kA)
$I_{KS}$	Počáteční rázový zkratový proud	(kA)
$I_v$	Vztažný zkratový proud	(kA)
$i_{MIC}$	Minimální zápalný proud (hodnota vztažená k MIC metanu)	(mA)
$J$	Proudová hustota	(A·mm <sup>-2</sup> )
$k$	Koeficient zahrnující vlastnosti materiálu	(-)
$k_{01}$	Činitel zvýšení odporu	(-)
$k_{cu}$	Koeficient zahrnující vlastnosti mědi	(-)
$k_p$	Činitel respektující rozložení proudu ve vodiči	(-)
$k_s$	Činitel skinu	(-)

$l$	Délka	(mm)
$l_1$	Délka úseku 1	(mm)
$l_2$	Délka úseku 2	(mm)
$L_k$	Indukčnost vedení na kilometr	( $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ )
$m$	Koeficient zahrnující druh styku	(-)
	Délka nože od stykového	(mm)
$M_1$	Ohybový moment v místě 1	(N·m)
$M_2$	Ohybový moment v místě 2	(N·m)
$M_o$	Ohybový moment	(N·m)
$N$	Činitel respektující skutečný průběh zkrat. proudu	(-)
$O_p$	Výpočtová velikost chladicího obvodu	(m)
$\Delta P$	Ztráty	(W)
$Q_1$	Tepelný tok prvního předpokladu	(W)
$Q_2$	Tepelný tok druhého předpokladu	(W)
$P_p$	Geometrická velikost chladicího obvodu	(m)
$R_{20}$	Odpor při teplotě 20 °C	( $\Omega$ )
$R_A$	Stykový odpor v bodě A	( $\Omega$ )
$R_{A80}$	Stykový odpor v bodě A, při teplotě 80 °C	( $\Omega$ )
$R_B$	Stykový odpor v bodě B	( $\Omega$ )
$R_{B80}$	Stykový odpor v bodě B, při teplotě 80 °C	( $\Omega$ )
$R_c$	Celkový stykový odpor, při teplotě 80 °C	( $\Omega$ )
$R_{c1}$	Odpor první části obvodu	( $\Omega$ )
$R_k$	Odpor vedení na kilometr	( $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ )
$R_p$	Odpor cizích vrstev	( $\Omega$ )
$R_s$	Stykový odpor	( $\Omega$ )
$R_{s1}$	Stykový odpor na mezi měknutí	( $\Omega$ )
$R_{s2}$	Stykový odpor na mezi svaření	( $\Omega$ )
$R_{Tl}$	Longituduální odpor	(W·K <sup>-1</sup> )
$R_{Tt}$	Transverzální odpor	(W·K <sup>-1</sup> )
$R_t$	Odpor tyče pomocného kontaktu	( $\Omega$ )
$R_u$	Odpor úžiny	( $\Omega$ )
$R_g$	Odpor při požadované teplotě	( $\Omega$ )
$S$	Plocha	(m <sup>2</sup> )
	Zdánlivý výkon	(kV·A)
$s$	Zdvih	(mm)
$S'$	Předběžná plocha	(m <sup>2</sup> )
$s_1$	Vypočtený zdvih pro silu $F$	(mm)
$S_o$	Plocha styku	(mm <sup>2</sup> )
$S_{sk}$	Maximální zkratový výkon	(MV·A)
$S_v$	Vztažný zdánlivý výkon	(MV·A)

$u_k$	Procentní napětí nakrátko	(%)
$U_{sm}$	Napětí měknutí	(V)
$U_{ss}$	Napětí svaření	(V)
$U_v$	Vztažné napětí	(V)
$w$	Šířka spáry	(mm)
$w_{MESG}$	Šířka maximální bezpečné experimentální spáry	(mm)
$W_o$	Modul průřezu v ohybu	(m <sup>3</sup> )
$X_k$	Induktivní reaktance vedení na kilometr	( $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ )
$Z_k$	Impedance vedení na kilometr	( $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$ )
$Z_C$	Celková procentní impedance	(%)
$Z_S$	Procentní impedance celé sítě	(%)
$Z_{T1}$	Procentní impedance transformátoru 1	(%)
$Z_{T2}$	Procentní impedance transformátoru 2	(%)
$Z_{T3}$	Procentní impedance transformátoru 3	(%)
$Z_V$	Impedance kabelových vedení	( $\Omega$ )
$Z_{V1}$	Procentní impedance vedení 1	(%)
$Z_{V2}$	Procentní impedance vedení 2	(%)
$\alpha$	Teplotní součinitel elektrického odporu	(10 <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> )
$\alpha_{cu}$	Teplotní součinitel odporu mědi při 40 °C	(10 <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup> )
$\alpha_{c1}$	Celková chladivost úseku 1	(W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> )
$\alpha_{k1}$	Chladivost konvekce úseku 1	(W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> )
$\alpha_{r1}$	Chladivost radiace úseku 1	(W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> )
$\beta l$	Součinitel náhradního $\pi$ – článku	(-)
$\Delta \vartheta$	Teplotní rozdíl	(°C)
$\delta$	Součinitel náhradního $\pi$ – článku	(-)
$\zeta$	Koeficient zahrnující podíl pružné deformace některých plošek	(-)
$\vartheta_1$	Uvažované oteplení předpokladu 1	(K)
$\vartheta_2$	Uvažované oteplení předpokladu 1	(K)
$\vartheta_{c1}$	Celkové oteplení	(K)
$\vartheta_D$	Dovolené oteplení	(K)
$\vartheta_\infty$	Oteplení v nekonečnu	(K)
$\lambda_{cu}$	Měrná tepelná vodivost	(W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )
$\pi$	Ludolfovo číslo	(-)
$\rho$	Měrný odpor	( $\Omega \cdot \text{m}$ )
$\rho_{40}$	Měrný odpor mědi při 40 °C	( $\Omega \cdot \text{m}$ )
$\rho_{cu}$	Měrný odpor mědi	( $\Omega \cdot \text{m}$ )
$\sigma_{dov}$	Dovolené namáhání	(MPa)

$\phi$	Průměr díry pro šroub	(mm)
$\omega$	Kruhová frekvence sítě	(s <sup>-1</sup> )

ATEX	Direktiva EU 94/9/ES - sjednocení značení a předpisy pro elektrická zařízení určené do prostředí s nebezpečím výbuchu.
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
IP	Krytí
OKD, a. s.	Ostravsko – karvinské doly, akciová společnost
MESG	Maximální experimentální bezpečná spára
MIC	Minimální zápalný proud
NEC	Národní elektrotechnický výbor
NKR	Nevýbušná kabelová rychlospojka



# Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Prostředí s nebezpečím výbuchu.....</b>	<b>2</b>
2.1. Úvod.....	2
2.2. Základní pojmy a definice.....	2
2.3. Klasifikace výbušné atmosféry .....	4
2.4. Iniciační zdroje výbuchu .....	6
2.5. Zařazení a definice zón .....	8
2.6. Zařízení pro prostředí s nebezpečím výbuchu – požadavky .....	9
2.7. Způsob označování zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu.....	11
<b>3. Elektrická zařízení pro prostředí s nebezpečím výbuchu.....</b>	<b>13</b>
3.1. Úvod.....	13
3.2. Ochrana pevným závěrem „d“ .....	13
3.3. Ochrana zařízení zajištěným provedením „e“ .....	14
3.4. Ochrana zařízení závěrem s vnitřním přetlakem „p“ .....	15
3.5. Pískový závěr „q“ .....	16
3.6. Olejový závěr „o“ .....	17
3.7. Zalití zalévací hmotou „m“ .....	17
3.8. Jiskrová bezpečnost „i“ .....	18
3.9. Ochrana typu „n“ .....	19
<b>4. Spojování kabelů, rychlospojky, popis, konstrukce, dělení.....</b>	<b>20</b>
4.1. Úvod.....	20
4.2. Použití nevýbušných rychlospojek.....	21
4.3. Popis a konstrukce rychlospojek .....	22
4.4. Rozdělení rychlospojek .....	25
<b>5. Návrh a výpočet rychlospojky.....</b>	<b>27</b>
5.1. Návrh hlavního kontaktu.....	27
5.2. Kontrola hlavního kontaktu.....	38
5.3. Návrh pomocných kontaktů .....	46
5.4. Návrh připojovacích svorek .....	47

<b>6. Celkové konstrukční řešení .....</b>	<b>48</b>
6.1. Návrh izolačních prvků .....	48
6.2. Řešení pláště a vývodek .....	48
<b>7. Model rychlospojky a řešení pomocí metody konečných prvků .....</b>	<b>49</b>
7.1. Úvod.....	49
7.2. Modelování pomocí ANSYS Workbench.....	51
7.3. Zhodnocení modelu.....	53
<b>8. Závěr.....</b>	<b>55</b>
<b>9. Použitá literatura.....</b>	<b>57</b>
<b>10. Seznam příloh .....</b>	<b>60</b>

## 1. Úvod

V této diplomové práci se zabývám návrhem nevýbušné rychlospojky pro zadané hodnoty jmenovitého napětí 1000 V a zadané hodnoty jmenovitého proudu. Popisované zařízení slouží pro rychlé spojování kabelových úseků s pohyblivým spotřebičem. Je to v podstatě pohyblivá zásuvka a vidlice.

Zmíněné zařízení se používá v hlubinných černouhelných dolech. Z této skutečnosti vyplývá, že zařízení musí být navrženo v nevýbušném provedení, proto aby nebylo zdrojem iniciace výbuchu jak plynu, tak prachu.

Další parametry návrhu limituje napěťová hladina a jmenovitý proud. Pro předepsanou napěťovou hladinu jsou již existující rychlospojky, ovšem pro hladinu jmenovitého proudu 200 A rychlospojka není. Existující rychlospojky se u nás běžně vyskytují pro jmenovité proudy 160 a 360 A, přičemž hmotnost rychlospojky pro jmenovitý proud 160 A je 35 kg a pro 360 A je hmotnost 51 kg. Problém nastává v případě, kdy proud 160 A není dostačující, ale proud 360 A je již zbytečně velký.

S tímto problémem jde ruku v ruce i manipulace, tedy především z hlediska hmotnosti. Manipulace se zařízením o hmotnosti 51 kg a 35 kg v podmínkách, které vládou v černouhelném dolu, může být z hlediska fyzické námahy velmi rozdílná. Pracovníci se pohybují v hloubkách i přes 1000 m pod povrchem zcela běžně. Na jednotlivých pracovištích mohou panovat velmi náročné a vyčerpávající faktory jako jsou vysoká teplota, vysoká vlhkost, stísněnost prostoru a spousta dalších. V těchto podmínkách je každá práce velmi náročná a každé ulehčení je vítáno.

Popisované podmínky a manipulaci s rychlospojkami jsem měl možnost na vlastní kůži poznat při mé pracovní zkušenosti, kdy jsem jako pracovník kolektivu důlních elektrikářů byl zaměstnán na dole Paskov. Mohu skutečně potvrdit, že podmínky jsou mnohdy velmi obtížné a provádět sebelehčí práci může být nesmírně vyčerpávající a náročné.

Z uvedených faktorů tedy vyplývá, že je třeba skloubit jak bezpečnost a funkčnost, tak i manipulovatelnost. Tyto skutečnosti jsou tedy výchozím bodem pro návrh popisovaného elektrického zařízení.

## 2. Prostředí s nebezpečím výbuchu

### 2.1. Úvod

S problematikou nebezpečí výbuchu, ať už plynů, par, mlhy a prachů se setkáváme dnes a denně, bez toho, abychom si tuto skutečnost uvědomovali. Pro příklad, každá látka organického původu je za určitých podmínek zdrojem výbuchu. Tato látka může tvořit i předměty denní potřeby jako čaj, mouka nebo vznikat při běžných denních činnostech jako je tankování pohonných hmot do automobilu, natírání barvami, odmašťování a čištění různých předmětů nebo používání plynových spotřebičů [11].

### 2.2. Základní pojmy a definice

#### 2.2.1. Výbuch

Jako výbuch můžeme definovat exotermickou chemickou reakci, kdy přivedením prvotní energie začne reagovat hořlavá látka s kyslíkem tak, že dojde k růstu její teploty, tlaku nebo obou veličin. Výbuch jako takový můžeme dále rozdělit na dvě základní podskupiny a to deflagrace a detonace [11].

Při deflagraci je rychlost reakce nižší než rychlost šíření zvuku v daném prostředí a při detonaci je rychlost reakce vyšší než rychlost zvuku v daném prostředí. Detonace má však navíc svou specifickou vlastnost. Touto specifickou vlastností je vytvoření detonační tlakové vlny s tlakem, jehož velikost je řádově v MPa. Rychlost šíření tlakové vlny v daném prostředí je okolo  $2000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Výskyt detonace lze v praxi pozorovat jen v uzavřených systémech, jež mají charakter potrubí [11], [14].

#### 2.2.2. Hořlavá látka

Za hořlavou látku se považuje látka ve formě plynu, kapaliny, pevné látky nebo směsi, která může v případě inicializace vyvolat spolu se vzduchem exotermickou reakci [11], [24].

K tomu, aby vůbec výbuch vznikl, je potřeba splnit tři následující podmínky:

- přítomnost hořlavé látky,
- přítomnost zdroje inicializace,
- přítomnost kyslíku.

Tato skutečnost, kdy je potřeba splnit všechny tři popisované podmínky platí pro většinu hořlavých látek. Ovšem u tzv. nestabilních látek může dojít k výbuchu i bez přítomnosti vzdušného kyslíku. Zde dochází k výbuchu z titulu samotných chemických reakcí. Příkladem takové reakce může být reakce vodíku a chlóru. Podmínky, které jsou nutné pro vznik výbuchu, je možno graficky znázornit pomocí tzv. výbuchového trojúhelníku uvedeného na obrázku 2.1. na následující straně [11].



Obr. 2.1. - Výbuchový trojúhelník [11].

### 2.2.3. Výbušná atmosféra

Výbušná atmosféra je definována jako směs hořlavých látek ve formě plynu, par, prachů, vláken nebo polétavých částic se vzduchem za atmosférických podmínek, ve které se po inicializaci samovolně šíří hoření do celého nespáleného objemu směsi [11], [24].

Výbušná atmosféra může samotnou reakci ovlivňovat v různých atmosférických podmínkách. Z tohoto důvodu se definují tzv. standardní podmínky. Ke standardním podmínkám se vztahují všechny pojmy a hodnoty definované normami, které se zabývají zařízeními určenými do prostředí s nebezpečím výbuchu. Jako standardní atmosférické podmínky tedy uvažujeme teploty pro výbušnou směs v rozsahu  $-20$  až  $+60$  °C a tlak v rozsahu od 80 do 110 kPa. V případě, že se směs nachází mimo stanovená pásma standardních podmínek, posuzuje se chování směsi experimentálně a zařízení je rovněž nutno posuzovat individuálně [11].

Jak již bylo dříve zmíněno, proto aby vznikl výbuch, je potřebná jak hořlavá látka, tak kyslík obsažený ve vzduchu. Jednotlivé chemické reakce probíhají za určitých poměrů pro slučování nebo koncentrací. Koncentrace je dána v procentech hořlavé látky se vzduchem pro plyny nebo jako absolutní hmotnost na objem vzduchu u hořlavých kapalin, jejích plynů a par. Tabulkové hodnoty se zjišťují pomocí experimentálních metod a jejich samotné hodnoty se uvádí pro atmosférický tlak a standardní teplotu 20 °C. Další uváděné tabulkové hodnoty jsou horní a dolní mez výbušnosti nebo horní a dolní bod výbušnosti a minimální iniciační energie. Co se týče parametrů výbuchového tlaku, je třeba si uvědomit, že tlak se značně mění v závislosti na podmínkách okolního prostředí. Z tohoto důvodu nelze uvažovat parametry konstantní. Mezi tyto podmínky patří skutečná koncentrace hořlavé látky se vzduchem a rovněž hodnota počáteční teploty nebo tlaku samotné výbušné směsi v okamžiku její iniciace. Abychom samotnou koncentraci vyjádřili alespoň relativně, definujeme tzv. Stechiometrickou koncentraci, což je vypočitatelná hodnota koncentrace v objemových procentech hořlavé látky se vzduchem, kdy při exotermní reakci dojde k optimálnímu spálení směsi. Po reakci tedy nezbude ani žádný kyslík, ani žádná nespálená hořlavá směs [11].

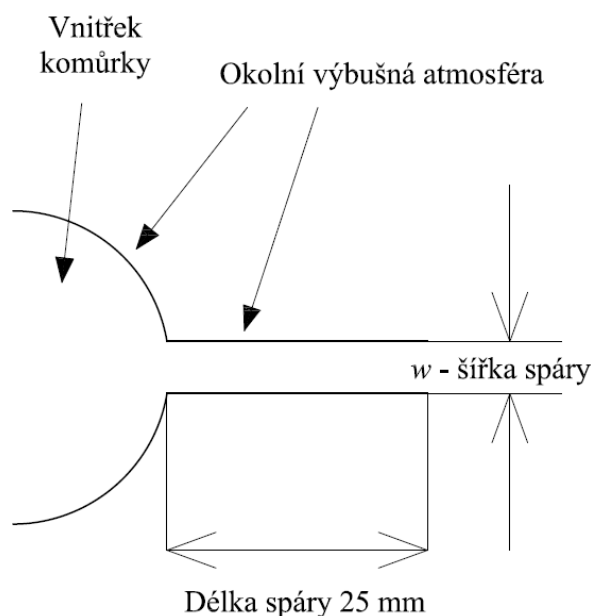
## 2.3. Klasifikace výbušné atmosféry

### 2.3.1. Rozdělení podle výbušnosti

Jelikož existuje velké množství hořlavých látek, je nutná jejich bližší klasifikace podle určitých specifických vlastností. První rozčlenění můžeme provést do tzv. skupin výbušnosti, kdy v tomto případě se jedná se o rozčlenění výbušných plynů a par [11].

Tyto skupiny výbušnosti jsou definovány buď maximální experimentální bezpečnou spárou (MESG) nebo minimálním zápalným proudem (MIC) [11].

Maximální experimentální bezpečná spára je dána největší spárou mezi dvěma částmi vnitřní komůrky zkušebního zařízení. Při zapálení plyné směsi uvnitř komůrky, za předpokládaných zkušebních podmínek, zabrání bezpečná experimentální spára o délce 25 mm tomu, aby došlo k zapálení směsi nacházející se vně komůrky. Platí to pro všechny hodnoty koncentrace ověřovaného plynu nebo par se vzduchem. Grafické znázornění je na následujícím obrázku 2.2. [11].



Obr. 2.2. - Stanovení maximální bezpečné experimentální spáry [11].

Minimální zápalný proud (MIC) je definován jako poměr minimálního zápalného proudu směsi, kterou zkoumáme, k minimálnímu zápalnému proudu pro metano – vzdušnou atmosféru, přičemž uvažujeme standardní podmínky [24].

Řazení jak podle maximální experimentální bezpečné spáry, tak podle minimálního zápalného proudu vede ke stejným výsledkům. Převod mezi hodnotami je s dostatečnou přesností popsán vztahem (2.1.) [11].

$$w_{\text{MESG}} = 1,125 \cdot i_{\text{MIC}} \quad (2.1.)$$

Důlní plyn je zařazen do zvláštní skupiny I, což je dáno historickými důvody. Všechny ostatní plyny a páry jsou řazeny do skupiny II. V následující tabulce 2.1. jsou uvedeny jednotlivé skupiny výbušnosti, a to jak dle IEC, tak podle amerického NEC [11].

Tab. 2.1. - Označení skupin výbušnosti [11].

IEC	USA
IIC	A (pouze acetylén)
	B
IIB	C
IIA	D
I (důlní plyn)	-

V následující tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty MESG a poměru MIC plynu k MIC metanu podle IEC, užívané nejen u nás ale vůbec v celé Evropě.

Tab. 2.2. - Hodnoty pro zařazení do skupin plynů [11].

Skupina výbušnosti		MESG (mm)	MIC <sub>plyn</sub> / MIC <sub>metan</sub>
elektrická	pojistky		
I	IIA1	$\geq 1,14$	$\geq 1$
IIA	IIA	$\geq 0,9 < 1,14$	$\geq 0,8 < 0,1$
IIB	IIB1	$\geq 0,85 < 0,9$	$> 0,45 < 0,8$
	IIB2	$\geq 0,75 < 0,85$	
	IIB3	$\geq 0,65 < 0,75$	
	IIB	$\geq 0,5 < 0,65$	
IIC	IIC (bez acetylénu)	$< 0,5$	$< 0,45$

Obdobně jako plyny a páry se i prachy zařazují do skupin podle jejich nebezpečnosti. Proto jsou uvedeny následující tři skupiny:

- IIIA Prachy vláknité (bavlna), prachy s jedním rozměrem větším než 0,5 mm.
- IIIB Prachy nevodivé (organické a anorganické prachy) s vodivostí větší než 1000  $\Omega \cdot m$ .
- IIIC Prachy vodivé (kovové) s vodivostí menší než 1000  $\Omega \cdot m$ .

Skupina C představuje nejnebezpečnější prachy a skupina A obsahuje prachy nejméně nebezpečné [11].

### 2.3.2. Rozdělení podle teplotních tříd

V následující tabulce 2.3. je uvedeno rozdělení plynů dle IEC do teplotních tříd. Klasifikace je provedena pro plyny skupiny II. Teplota vznícení důlního plynu je větší než 450 °C a je zařazen do skupiny I [11].

Tab. 2.3. - Rozdělení plynů a par do teplotních tříd dle IEC [11].

Teplotní třída dle IEC	Teplota vznícení IEC (°C)
T1	nad 450
T2	300 až 450
T3	200 až 300
T4	135 až 200
T5	100 až 135
T6	85 až 100

U hořlavých prachů se neprovádí rozčleňování do teplotních tříd, ale uvádí se u nich přímo teplota vznícení. Tato teplota se uvádí pro dva stavy. Prvním případem je stav, kdy je prach usazen a druhým je stav, kdy je prach rozvířen. Teplota vznícení pro rozvířený prach se nachází nad hodnotou 400 °C a pro prach usazený je teplota vznícení přibližně nad 180 °C. Teplota vznícení však závisí i na velikosti samotných prachových částic. Potřebné je tedy, abychom znali i složení prachu. Obecně však můžeme říci, že zápalná teplota v obou popisovaných stavech se mírně snižuje spolu se zmenšujícím se rozměrem prachových částic [11], [24].

## 2.4. Iniciační zdroje výbuchu

Inicializační zdroje rozdělujeme podle jejich pravděpodobnosti výskytu. Existují tři základní skupiny pro jejich rozdělení:

- iniciační zdroje vyskytující se trvale nebo často,
- iniciační zdroje vyskytující se zřídka,
- iniciační zdroje vyskytující se výjimečně.

S prvním případem se můžeme setkat za běžného provozu zařízení, s druhým většinou při běžných provozních poruchách a s třetím jmenovaným případem nejčastěji při selhání zařízení. Pro elektrická zařízení uvažujeme jako hlavní iniciační zdroje: teplotu, elektrický oblouk a elektrickou jiskru. Dále je však třeba uvažovat i další zdroje iniciace, které nejsou přímo svázány s elektřinou. Vybrané iniciační zdroje jsou popsány níže [11], [24].

### 2.4.1. Horký povrch

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.3.2., jsou stanoveny teplotní třídy pro vznícení výbušné směsi. Po překročení dané teploty dochází k zapálení výbušné směsi. Zápalným zdrojem nemusí být jen povrch elektrického zařízení, ale i povrch zařízení mechanického. U těchto zařízení může dojít k převodu daného druhu mechanické energie na energii tepelnou. Tento případ může vniknout



například při brzdění otáčející se součásti, kdy se plochy povrchu mohou zahřát na takovou teplotu, že dojde k zapálení výbušné směsi [11], [24].

#### **2.4.2. Plameny a horké plyny**

Plameny jako takové vznikají při spalování a jsou v podstatě jevem, který spalování doprovází. Tato popisovaná reakce probíhá při teplotách okolo 1000 °C a vyšších. Jako zdroj zapálení výbušné směsi můžeme rovněž považovat horké zplodiny hoření. Výbušná atmosféra se může nacházet vně nebo uvnitř nějakého zařízení a existuje možnost, že se plamen přenesení i do jiného prostoru. Abychom danému přenosu zabránili, volíme speciálních konstrukčních opatření [11].

#### **2.4.3. Jiskry vznikající mechanicky**

Mechanické jiskry mohou vznikat při různých činnostech, ať už úmyslných nebo neúmyslných. Mezi úmyslné můžeme například zařadit obrábění nebo dělení materiálu, broušení nebo odšťikující kapičky kovu při svařování. Jako příklad neúmyslné činnosti lze uvést tření dvou částí, kdy mohou být generovány jiskry. Takto vniklé jiskry nesmí vést opět k zapálení výbušné směsi [11].

#### **2.4.4. Elektrická zařízení**

Elektrické zařízení může být velmi často potenciálním zdrojem iniciace výbuchu. Jako iniciační zdroje zde uvažujeme především horké povrchy ve styku s výbušnou atmosférou a rovněž výboje povahy elektrických jisker nebo elektrických oblouků. Uvažujeme zde i zařízení využívající malé bezpečné napětí, jenž je z pohledu ochrany před nebezpečným dotykovým napětím klasifikováno jako bezpečné. I tato zařízení mohou vytvořit jiskru a tím být zdrojem iniciace výbuchu [11], [24].

#### **2.4.5. Elektrické proudy a vyrovnávací proudy**

V důsledku vzniku vyrovnávacích proudů v zařízeních, mohou vznikat elektrické jiskry při nedokonalém galvanickém pospojování, což nastává dokonce při malém rozdílu potenciálů. Dalším nežádoucím projevem elektrického proudu při zkratu, je působení elektrického oblouku, kde může vznikat velký tepelný účinek nebo jiskření. Příčinou elektrického proudu ve vedení může být rovněž elektromagnetická indukce nebo může vznikat jako důsledek působení katodové ochrany před korozi. Proud a jeho důsledky nesmí vést ke vzniku výbušné atmosféry [11], [24].

#### **2.4.6. Statická elektřina**

Statická elektřina vzniká především v důsledku nabíjení neuzemněných materiálů, ať už vodivých nebo nevodivých. Mezi typické zástupce vzniku popisovaného nabíjení patří: tření prachových částic, proudění média v potrubích, různé chemické reakce a mnoho dalších případů. Na takto nabitých předmětech vzniká napětí i v řádech kilovoltů. Při vybití vznikají různé druhy výbojů, které mohou být iniciačním zdrojem výbuchu výbušné atmosféry [11], [24].

#### 2.4.7. Úder blesku

V případě úderu blesku může dojít k zapálení výbušné atmosféry buď přímo, nebo v důsledku průvodních jevů při úderu. Výsledkem jsou vysoké protékající proudy. S tím souvisí velké oteplení proudovodné cesty. V neposlední řadě mohou vznikat různé přeskoky způsobující jiskření a elektrické oblouky, a to i na poměrně dlouhé vzdálenosti [11], [24].

#### 2.4.8. Další zdroje iniciace výbuchu

Uvedené iniciační zdroje patří mezi nejběžnější zdroje, ovšem je třeba uvažovat i faktory jako je působení vysokofrekvenčního elektromagnetického pole, adiabatická komprese, ionizující záření, ultrazvuk a chemické reakce [11], [24].

### 2.5. Zařazení a definice zón

Prostory, v nichž uvažujeme nebezpečí výbuchu, se dělí do zón. Je to způsobeno tím, že samotná výbušná atmosféra se nachází v určitém prostoru po určitý čas. Proto, abychom dovedli tuto skutečnost rozlišovat pro časové období, kdy je výbušná atmosféra přítomna, jsou definovány tyto zóny. V případě, že je v prostoru výbušná atmosféra trvale, je přiřazena pravděpodobnost 1, naopak v případě, kde výbušná atmosféra není přítomna, je přiřazena pravděpodobnost 0 [11].

#### 2.5.1. Zóna 0

Je to prostor, ve kterém se výbušná atmosféra nachází trvale, po dlouhou dobu nebo často. Pro přiřazení pravděpodobnosti je dána hodnota od  $10^{-1}$  do 1. V časovém vyjádření je dána hodnotou hodin za rok. V tomto případě se výbušná atmosféra vyskytuje více než 1000 hodin v roce [11], [13].

#### 2.5.2. Zóna 1

Zde se jedná o prostor, ve kterém se výbušná atmosféra vyskytuje příležitostně. Pro pravděpodobnostní vyjádření nabývá hodnot  $10^{-3}$  až  $10^{-1}$  a z hlediska časového vyjádření se jedná o 10, až 1000 hodin v roce [11], [13].

#### 2.5.3. Zóna 2

Jedná se o prostor, ve kterém se hořlavá atmosféra vyskytuje výjimečně a po krátkou dobu. Pokud tuto hodnotu vyjádříme z hlediska pravděpodobnosti, tak se jedná o hodnoty nižší než  $10^{-3}$ . V časovém vyjádření tomu odpovídá hodnota výskytu méně než 10 hodin za rok [11], [13].

Zóny 0, 1 a 2 jsou definovány pro výbušnou atmosféru tvořenou hořlavým plynem, párou nebo aerosolem za běžných provozních podmínek. Dále jsou definovány zóny pro prostory, kde je výbušná atmosféra tvořena oblakem hořlavého prachu za běžných provozních podmínek. Tyto zóny jsou označeny jako zóny 20, 21 a 22. Uvedeny a popsány jsou v následujících kapitolách [24].

#### **2.5.4. Zóna 20**

Je to prostor, v němž se jemu definovaná výbušná atmosféra nachází nepřetržitě, po dlouhou dobu nebo často. Kritéria z hlediska pravděpodobnostního a časového jsou obdobné jako pro zónu 0. V podstatě se zde jedná o obdobu zóny 0 [11].

#### **2.5.5. Zóna 21**

Jedná se o obdobu zóny 1, tedy definovaná výbušná atmosféra se zde za běžných provozních podmínek nachází příležitostně. Z hlediska kritéria pravděpodobnostního a časového výskytu platí obdobná pravidla jako pro zónu 1 [11].

#### **2.5.6. Zóna 22**

Opět se zde jedná o obdobu zóny 2, kdy definovaná výbušná atmosféra se za běžných provozních podmínek vyskytuje jen výjimečně a po krátkou dobu. Kritéria pravděpodobnosti a doby výskytu jsou opět identická jako pro zónu 2 [11].

Další zařazení jako takové musíme uvažovat pro doly s nebezpečím výbuchu důlního plynu, kde se na klasifikaci pohlíží jinak. Je to způsobeno tím, že výbušná atmosféra v dole vzniká trvale. Z tohoto důvodu se v dolech uplatňuje systém provětrávání a sledování koncentrace výbušné atmosféry, kdy se hlídá koncentrace pod spodní úrovní meze výbušnosti. Další problém vyvstává v tom, že v dolech se nachází rovněž i hořlavý prach. Tento prach se vyskytuje jak ve formě prachu rozvířeného, tak ve formě prachu usazeného. Z uvedeného hlediska bychom mohli doly klasifikovat jako zóny 1 až 2, spolu s kombinací 21 až 22. V dolech se však nacházejí prostory, kde i přes veškerou funkčnost ventilace mohou vzniknout výbušné koncentrace. Zde bychom z hlediska pravděpodobnostního volili pro klasifikaci zónu 0 nebo 1. Pro stanovení důlního prostředí však nelze použít pravděpodobnostní princip. Z tohoto důvodu je úroveň ochrany důlního zařízení definována přímo ve vztahu k použití těchto zařízení. Definuje se zde kategorie zařízení M1 a M2, kdy zařízení kategorie M1 mohou zůstat v provozu po indikaci důlního plynu. Do kategorie zařízení spadají například zařízení pro monitorování plynu, různá čidla, komunikační vedení a jiskrově bezpečná zařízení. Kategorie M2 obsahuje zařízení, která po zjištění přítomnosti důlního plynu musí být vypnuta. Do kategorie M2 spadá drtivá většina elektrických zařízení používaných v dole [11].

### **2.6. Zařízení pro prostředí s nebezpečím výbuchu – požadavky**

Jednotlivé požadavky na zařízení do prostor s nebezpečím výbuchu jsou dány nařízením vlády č. 23/2003 Sb. a direktivou 94/9/EU. Jejich popis je uveden dále [11].

#### **2.6.1. Skupina zařízení I**

Do uvedené skupiny spadá zařízení využívané v dolech v prostorách podzemních, a dále v povrchových částech dolů, jenž jsou ohroženy metanem nebo hořlavým prachem. Skupina zařízení I se dále dělí na zařízení kategorie M1 a zařízení kategorie M2 [11].

### **2.6.1.1. Skupina zařízení I kategorie M1**

Zařízení dané skupiny je sestrojeno a speciálně vybaveno tak, aby bylo schopno zůstat v provozu i přes přítomnost výbušné atmosféry. Zařízení této kategorie plní například bezpečnostní funkci. U těchto zařízení je vyžadováno, aby plnila svou funkci i za vzniku výjimečné události, za přítomnosti výbušné atmosféry. Zařízení skupiny I kategorie M1 musí mít rovněž takové prostředky ochrany před výbuchem, aby v případě poruchy jednoho typu ochrany zajistil druhý typ ochrany dostatečnou úroveň bezpečnosti. Dále, pokud by vznikly dvě vzájemně nezávislé poruchy, musí být zajištěna úroveň bezpečnosti, která bude dostačující [11], [9].

### **2.6.1.2. Skupina zařízení I kategorie M2**

Pro daná zařízení platí, že za vzniku výbušné atmosféry jsou tato zařízení vypínána. Dostatečná úroveň je zajišťována ochrannými prvky a musí plnit svou funkci při běžném provozu, ale rovněž v případě, že zařízení pracuje za těžších provozních podmínek [11], [9].

## **2.6.2. Skupina zařízení II (povrch)**

V této skupině se nacházejí zařízení určená pro prostředí, ve kterém je přítomna výbušná atmosféra, jenž je tvořena směsí vzduchu a parami, plyny nebo mlhami. Zařízení této skupiny jsou určena pro použití v povrchových aplikacích. Rozdělení této skupiny se rovněž provádí na kategorie 1, 2 a 3 [11].

### **2.6.2.1. Skupina zařízení II kategorie 1**

Patří zde zařízení, která jsou sestrojena pro vysoký stupeň ochrany před výbuchem. Zmíněná zařízení jsou určena pro prostředí zón 0 a 20. Na jejich úroveň bezpečnosti jsou kladeny následující požadavky: [11]

- pokud selže jeden použitý typ ochrany, musí druhý použitý typ zajistit dostačující úroveň bezpečnosti,
- pokud vzniknou na sobě dvě nezávislé poruchy, musí být zajištěna úroveň bezpečnosti dostačující.

### **2.6.2.2. Skupina zařízení II kategorie 2**

Do této skupiny zařazujeme zařízení, která jsou především určena pro zóny 1 a 21. Dostatečná úroveň bezpečnosti musí být splněna jak pro běžný provozní stav, tak pro nepříznivé provozní podmínky [11], [9].

### **2.6.2.3. Skupina zařízení II kategorie 3**

Popisovaná skupina obsahuje zařízení, která jsou především určena do zóny klasifikace 2 a 22. Úroveň bezpečnosti zařízení pro tuto skupinu je uvažována jen pro normální provozní stav [11], [9].

### 2.6.3. Skupina zařízení III

U nových zařízení dnes používaných, je rovněž definována i skupina zařízení III, která obsahuje výhradně prachy, jelikož skupina II je již vyhrazena pro páry a plyny. Skupina zařízení III je dělena na podskupiny IIIA, IIIB a IIIC. Zařazení do skupiny hořlavé látky je obdobné jak pro plyny a páry, tak pro prachy [11].

Dále je nutné poznamenat, že zařízení, které vyhovuje pro provozování v kategorii II, nevyhovuje pro použití v kategorii III. Totéž platí i opačně. V následující tabulce 2.4. je uvedena souvislost mezi jednotlivými kategoriemi zařízení a popisovanými zónami [11].

Tab. 2.4. - Vztahy mezi kategoriemi zařízení a zónami [11].

Prostory	Zóna / úroveň ochrany	Zařízení							
		Skupina I		Skupina II			Skupina III		
		kategorie		kategorie			kategorie		
		M1	M2	1G	2G	3G	1D	2D	3D
Doly	V případě výskytu výbušné atmosféry zůstávají ve funkci	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne
	V případě výskytu výbušné atmosféry se vypínají	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Povrch	0	ne	ne	ano	ne	ne	ne	ne	ne
	1	ne	ne	ano	ano	ne	ne	ne	ne
	2	ne	ne	ano	ano	ano	ne	ne	ne
	20	ne	ne	ne	ne	ne	ano	ne	ne
	21	ne	ne	ne	ne	ne	ano	ano	ne
	22	ne	ne	ne	ne	ne	ano	ano	ano

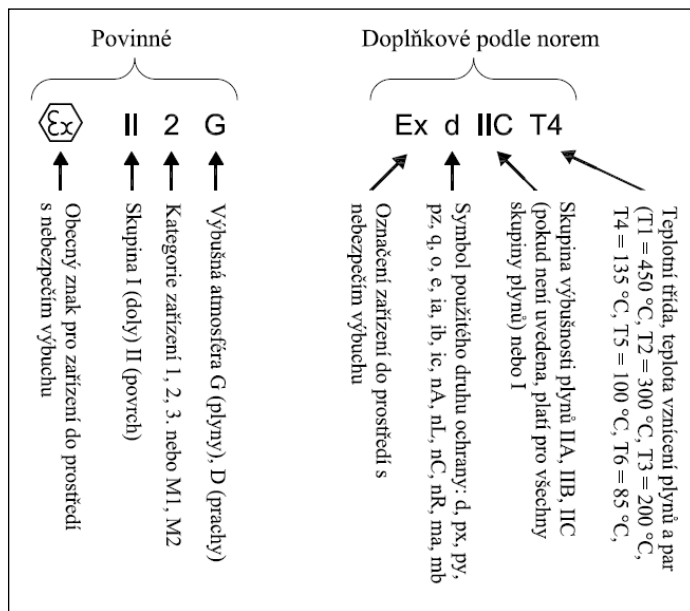
## 2.7. Způsob označování zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu

### 2.7.1. Označování nevýbušných zařízení pro plyny a páry

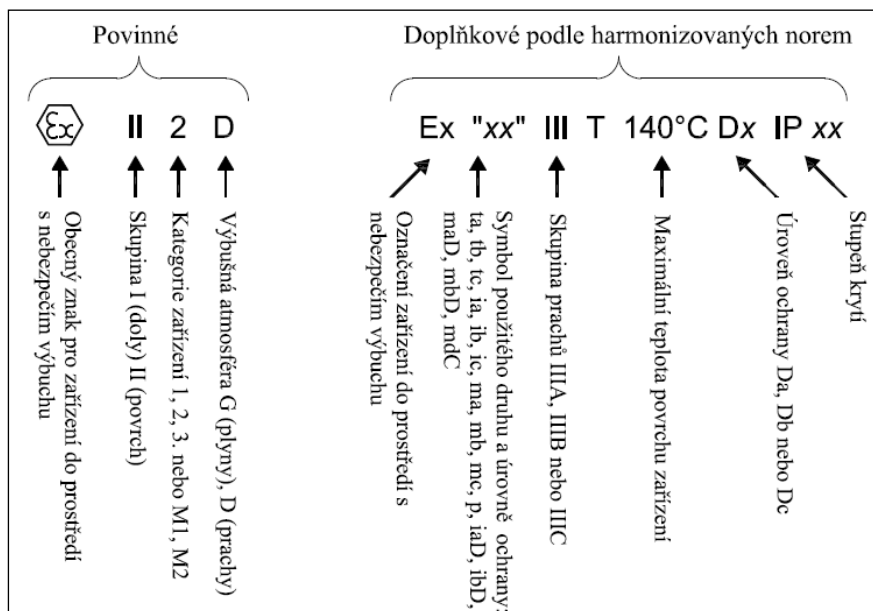
Způsoby označování zařízení do prostorů s nebezpečím výbuchů jsou dány jak nařízením vlády č. 23/2003 Sb., tak směrnicí 94/9/EC ATEX. Ovšem dnes je možno se setkat ještě s jiným doplňkovým způsobem, který se léta využíval. Oba tyto případy jsou uvedeny na obrázku 2.3. [11].

### 2.7.2. Označování nevýbušných zařízení pro prachy

I v tomto případě, stejně jako v kapitole 2.7.1. ze směrnice 94/9/EC, je na obrázku 2.4. uvedeno jak označení povinné, tak i doplňkové podle harmonizovaných norem [11].



Obr. 2.3. - Označení nevýbušných zařízení dle směrnice ATEX [11].



Obr. 2.4. - Označení nevýbušných elektrických zařízení [11].

### 3. Elektrická zařízení pro prostředí s nebezpečím výbuchu

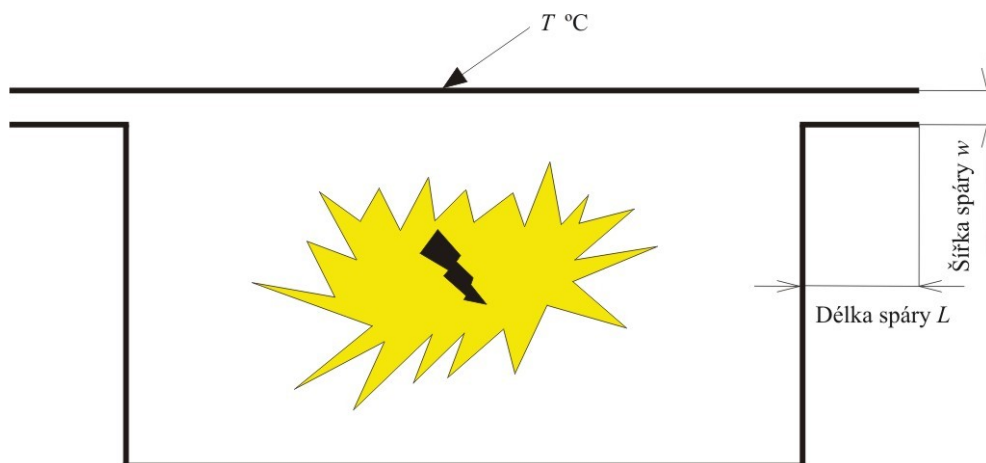
#### 3.1. Úvod

S rozvojem mechanizace dolů začal rovněž i rozvoj elektrických zařízení používaných v dolech. Využití elektrické energie v důlním provozu je základním pilířem pro růst mechanizace a ulehčení lidské práce. Co se týče stránky ekonomické, tak se jedná o mnohem hospodárnější variantu, než je užívání stlačeného vzduchu. Přes tyto pozitivní faktory je však třeba mít na paměti i negativní stránky použití elektrické energie. Jedná se především o nebezpečí vzniku požáru, výbuchu nebo úrazu elektrickým proudem. Proto je při konstrukci elektrického zařízení do důlního prostředí potřeba splnit specifické požadavky kladené na dané zařízení. Požadavky se řídí příslušnými normami. V dalších kapitolách jsou uvedeny jednotlivé druhy ochran používaných pro bezpečný provoz zařízení.

#### 3.2. Ochrana pevným závěrem „d“

Způsob činnosti popisovaného druhu ochrany spočívá v tom, že elektrické zařízení, které by mohlo být iniciačním zdrojem pro zapálení výbušné atmosféry, je umístěno uvnitř popisovaného závěru. Pokud dojde k explozi uvnitř závěru, tak tento závěr musí vydržet výbuchový tlak a zachovat se tak, aby nedošlo k přenesení výbuchu zevnitř závěru do okolní výbušné atmosféry, která závěr obklopuje [27].

Uvedeného způsobu ochrany se docílí využitím principu definované spáry, jenž funguje jako chladič. Uvažujeme zde, že výbušná atmosféra se dostane dovnitř závěru a rovněž se počítá s tím, že dojde k její iniciaci. Iniciačním zdrojem může být jak část vnitřní, kupříkladu spínací prvek, tak část vnější, která může překročit zápalnou teplotu výbušné atmosféry. Samotná konstrukce tohoto zařízení bývá velmi robustní, jelikož konstrukce musí odolávat tlaku, který vznikne uvnitř. Tlaky nabývají hodnot od 0,3 do 1,5 MPa, a to v závislosti na složení výbušné atmosféry. Schematicky je pevný závěr znázorněn na obrázku 3.1. [11].



Obr. 3.1. - Konstrukční uspořádání pevného závěru [11].

Na obrázku 3.1. je znázorněno jak popisovaný princip ochrany funguje. Z důvodu, aby se výbuch nešířil, je využito kovové spáry, která má definovanou šířku a délku.

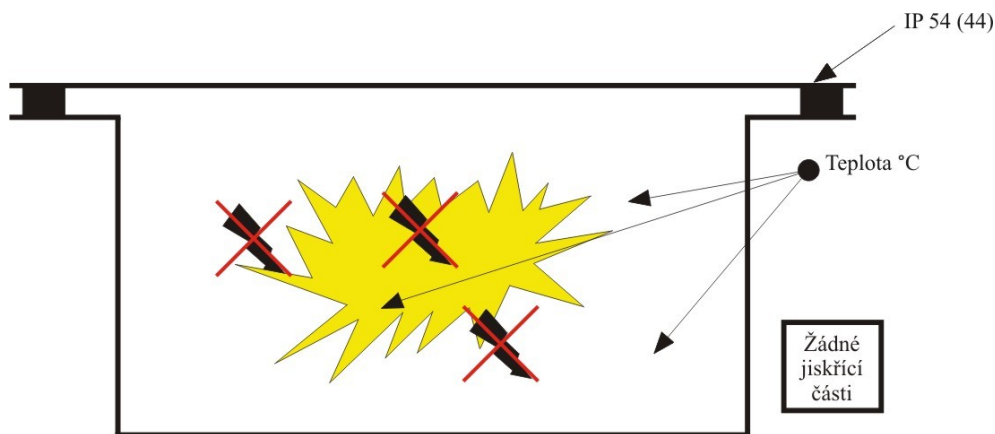
Při výbuchu uvnitř, dojde k vytlačování plamene a horkých zplodin přes spáru ven. Jak již bylo popsáno, definovaná spára plní funkci chladiče, tudíž zplodiny, které se dostanou ven ze závěru, musí mít teplotu nižší, než je teplota potřebná pro zapálení okolní atmosféry. Dále do hry kromě délky a šířky spáry vstupuje i její drsnost. Tento druh ochrany využívají všechna silová zařízení jako motory, rozváděče a svítidla [11], [24].

### 3.3. Ochrana zařízení zajištěným provedením „e“

Zmíněná ochrana je založena na tom, že provedeme taková opatření, aby nedošlo ke vzniku jisker a nedovolenému zvýšení teploty. Uvažujeme jak normální provozní podmínky, tak abnormální (poruchové) podmínky, které jsou očekávané. Samotné řešení spočívá v tom, že elektricky a mechanicky zesílíme konstrukci. Tuto ochranu lze realizovat pouze u zařízení, která za normálního stavu nejsou zdrojem iniciace výbuchu. Předpokládáme zde, že libovolná část elektrického zařízení může přijít do styku s výbušnou atmosférou. Princip ochrany je postaven na stupni krytí, na izolačních materiálech s dostatečnou tepelnou a mechanickou odolností, menším proudovém zatížení, větších vůlích mezi pohybujícími se částmi, minimálním průřezu vodičů a větších vzdálenostech mezi částmi s různými potenciály. Způsob ochrany zajištěným provedením „e“ splňuje stupeň ochrany kategorie 2 [11], [31].

Použití druhu ochrany „e“ můžeme nalézt především u svorkovnicových skříní [24].

Schematické znázornění ochrany zařízení zajištěným provedením je uvedeno na obrázku 3.2. [11].



Obr. 3.2. - Konstrukční uspořádání zajištěného provedení [11].



### 3.4. Ochrana zařízení závěrem s vnitřním přetlakem „p“

Tento ochranný princip je založen na tom, že v nádobě je umístěno zařízení, které je potenciálním zdrojem iniciace výbuchu. Nádoba obsahuje místo vzduchu nehořlavý plyn, který je navíc udržován v přetlaku oproti okolní atmosféře. Z uvedeného důvodu logicky vyvstává nevýhoda systému, která spočívá v tom, že musíme mít jak monitorovací systém pro hlídání přetlaku, tak samotný plyn, kterým je nádoba naplněna. Další nevýhodou je, že před spuštěním zařízení musíme závěr provětrat ochranným plynem, neboť v nečinnosti mohla výbušná atmosféra vniknout do závěru. Samotný proces provětrávání je rovněž třeba uvažovat, neboť se nejedná o homogenní proces, a proto se vždy řídíme návodem výrobce. Toto platí i pro stav, kdy je zařízení v chodu. Zde je třeba udržovat minimální hodnotu tlaku, jenž je udávaná výrobcem, ovšem minimální stanovená hodnota je 50 Pa [11], [28].

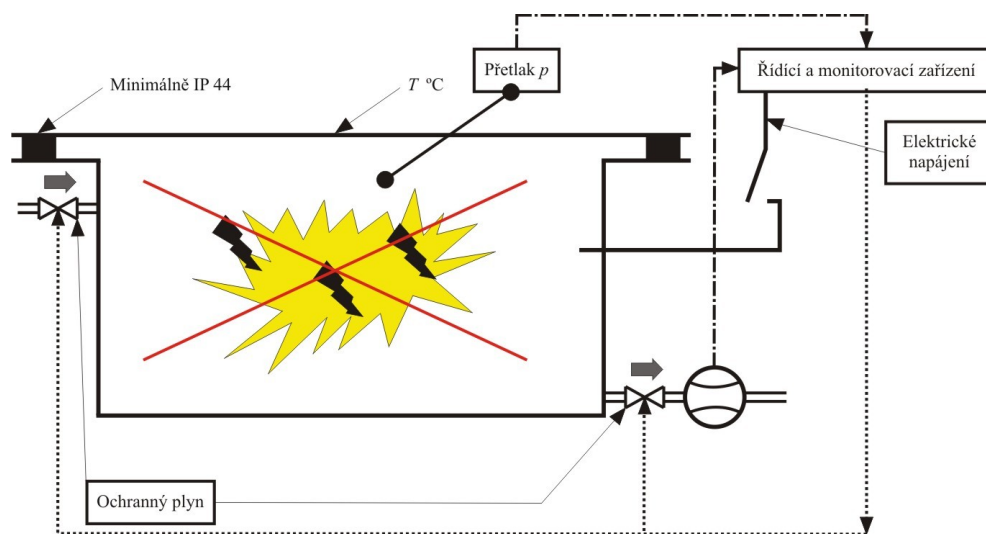
Co se týče samotného plynu, využívá se vzduch nebo inertní plyn. Zde se opět dbá pokynů výrobce a údajů v certifikátu zařízení [11], [28].

U zařízení, kde je ochrana řešena závěrem s vnitřním přetlakem, lze provést rozdělení na dva typy: závěr se statickým přetlakem a závěr s trvalým provětráváním [11], [28].

U závěru se statickým přetlakem se musí používat jen inertní plyn, obsah kyslíku je udržován pod hranicí 1 % z celkového objemového množství. Plnění probíhá v prostorech, kde nehrozí nebezpečí výbuchu. Velikost plnicího přetlaku musí být na hodnotě, kterou udává výrobce, ovšem minimální hladina je 50 Pa. Dále musí být zajištěno, že v případě ztráty tlaku pod povolenou hodnotu, dojde k uvedení zařízení do stavu bezpečného. Toto je řešeno pomocí dvou zařízení, jež zapůsobí při poklesu tlaku [11].

Dalším typem je závěr, ve kterém je prováděno trvalé provětrávání. Zmíněný závěr využívá vzduch nebo inertní plyn. Dále musí mít závěr alespoň jedno bezpečnostní zařízení pro monitorování a řízení. Pokud je plnicím plynem vzduch, musí před spuštěním zařízení obsahovat atmosféra uvnitř maximálně 25 % hořlavých plynů nebo par. V případě, že je jako plnicí médium použit inertní plyn, nesmí být hodnota zbytkového vzduchu před zapnutím větší než 2 % v celkovém objemu. Při provětrávání je rovněž nutné uvážit provětrání samotného zařízení a potrubního vedení. Obdobně jako u závěru se statickým přetlakem se i zde hlídá tlak na hodnotě, kterou stanovuje výrobce, ovšem tlak nesmí opět klesnout pod 50 Pa. Hodnota tlaku se hlídá. V případě poklesu dojde k odpojení elektrického zařízení. Ochranný plyn proudící ze zařízení musí být odveden do prostředí, kde nehrozí nebezpečí výbuchu. Snímače a akční členy nacházející se mimo toto zařízení musí splňovat některou jinou ochranu před nebezpečím výbuchu. Další hledisko spočívá v použitém způsobu sledování ochranného plynu pro jednotlivá zařízení. V případě, že použijeme jeden zdroj plynu pro více zařízení, tak při poruše jednoho z nich je nutné vypnout všechna ostatní. Ovšem, pokud má každý závěr svoje sledování stavu, tak stačí při poruše vypnout konkrétní zařízení [11].

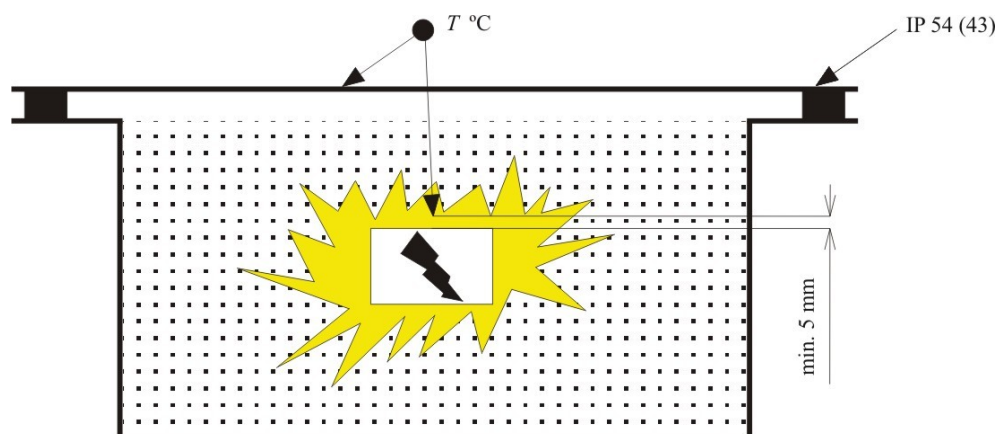
Uvedený systém zabezpečení je možno nalézt u větších zařízení, u velkých rozváděčů, velkých motorů nebo dokonce je takovým způsobem zabezpečena celá místnost. Schematicky je tento způsob ochrany uveden na obrázku 3.3. [24].



Obr. 3.3. - Konstrukční uspořádání zařízení s vnitřním přetlakem [11].

### 3.5. Pískový závěr „q“

Další využívaný typ ochrany používá jemného zrnitého materiálu, který obklopuje samotnou část zařízení, která by mohla být zdrojem iniciace výbuchu. Výbušná atmosféra může volně pronikat do zařízení s tímto typem ochrany. Dříve se pro tyto účely využívalo písku, odtud tedy samotný název. V dnešní době se u dané ochrany používají částice křemičitého skla. Samotný princip působení je velice jednoduchý. Výbušná atmosféra se mezi zrnky plnicího materiálu rozdělí do velmi malých objemů. Pokud dojde k iniciaci, pak je energie při výbuchu intenzivně chlazena pomocí částic plniva. Uvedenou ochranu, ze svého principu působení, nelze použít pro pohybující se části. Pokud bychom chtěli problém řešit, musíme je umístit do speciálního volného prostoru, který však nebude větší než 30 cm<sup>3</sup>. Minimální vrstva plnicího materiálu nad zařízením je 5 mm. Ochranu pískovým závěrem „q“ je možno nalézt u transformátorů a elektronických zařízení. Způsob funkce ochrany je znázorněn na obrázku 3.4. [11], [24], [29].



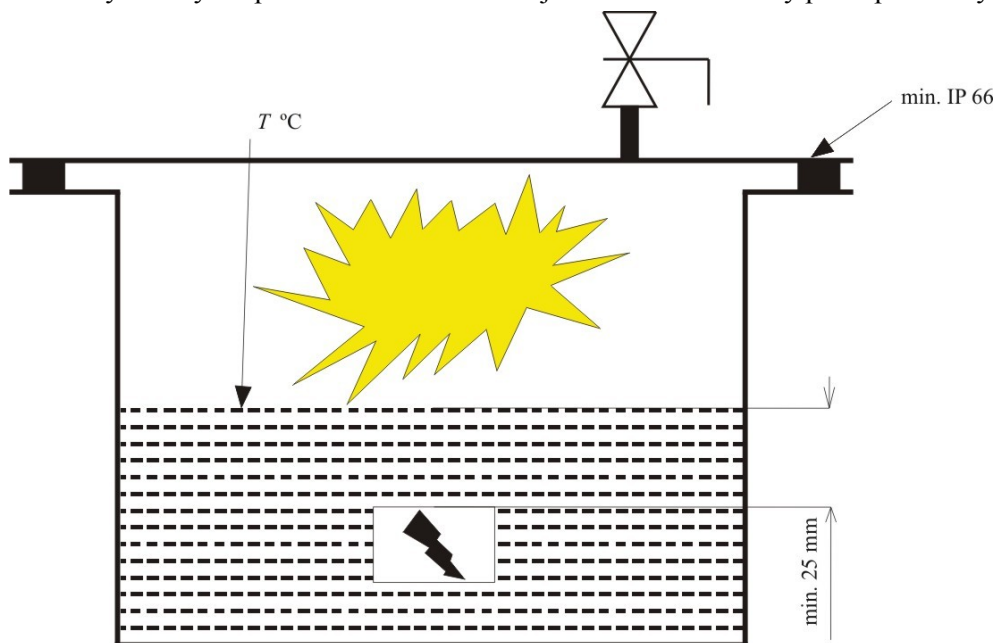
Obr. 3.4. - Konstrukční uspořádání zařízení s pískovým závěrem [11].

### 3.6. Olejový závěr „o“

U olejového závěru „o“ je zařízení ponořeno v kapalině. Výbušná atmosféra se k samotnému zařízení tedy nemůže dostat. Označení olejový závěr není zcela přesné, jedná se o označení historické, neboť pro doly je použití minerálního oleje zakázáno. Závěr se provádí buď jako těsný nebo netěsný. [11], [30].

Závěr těsný musí mít přetlakový ventil. Netěsný závěr musí být opatřen expanzní nádobou a rovněž čidlem pro vývin plynů, které musí mít také vhodný závěr. Dále netěsný závěr musí být vybaven otvorem doplněným vhodnou vysoušecí látkou [11].

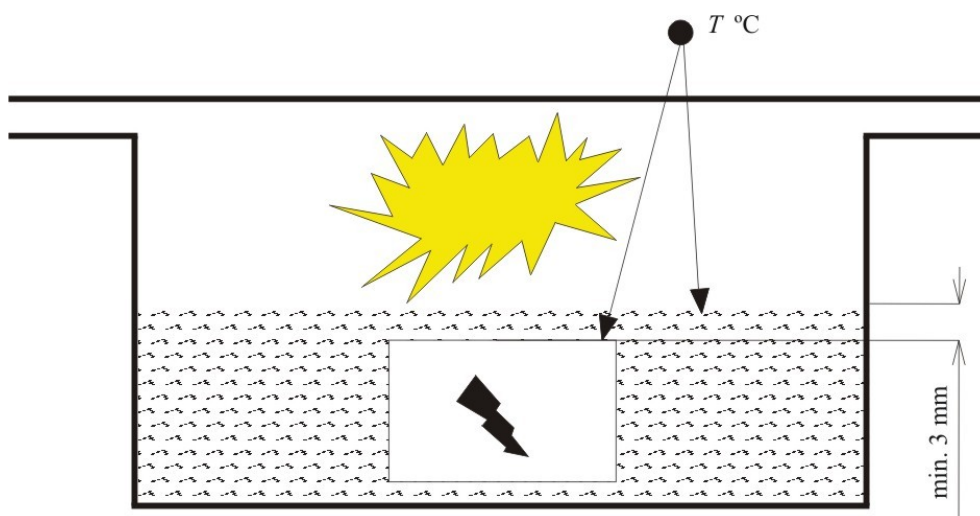
Mezi další vybavení olejového závěru patří: napouštěcí, vypouštěcí otvor a hlídač výšky hladiny. Teplota hladiny oleje nesmí dosáhnout zápalné teploty, a také zápalné teploty pro výbušnou směs. Použitá kapalina musí mít předepsané vlastnosti a nad zařízením musí být vrstva kapaliny silná alespoň 25 mm. Mezi předepsané vlastnosti patří především bod tuhnutí, bod vzplanutí, viskozita při dané teplotě, elektrická pevnost, měrný odpor a kyselost. Olejový závěr „o“ se využívá u transformátorů a výkonových spínačů. Na obrázku 3.5. je znázorněn uvedený princip ochrany [11].



Obr. 3.5. - Konstrukční uspořádání zařízení s olejovým závěrem [11].

### 3.7. Zalití zalévací hmotou „m“

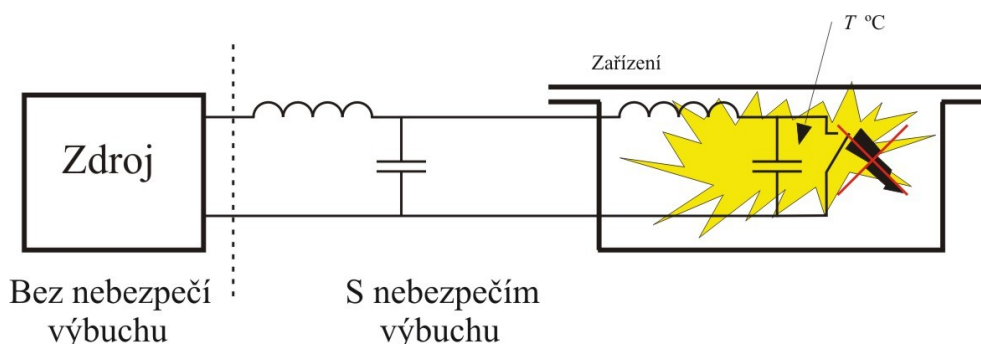
Jedná se o tzv. hermetizovaný závěr. Chráněné zařízení zalijeme pomocí zalévací hmoty. Obdobně, jako u pískového závěru se tento druh nehodí pro pohyblivé části, například kontakty. Problém lze vyřešit tím, že pohyblivé části budou v prostoru menším, než je 100 cm<sup>3</sup> chráněném kryty. Pak je minimální tloušťka zalévací hmoty 3 mm. Povrch zalévací hmoty nesmí překročit teplotu, která by mohla zapálit výbušnou směs. S tímto typem ochrany se nejčastěji setkáme u různých senzorů, spínacích jednotek a napájecích zdrojů. Konstrukce zmíněného typu zařízení je znázorněna na obrázku 3.6. [11], [24].



Obr. 3.6. - Konstrukční uspořádání zařízení s hermetizovaným závěrem [11].

### 3.8. Jiskrová bezpečnost „i“

Jedná se o ochranu, u níž účinky elektrického proudu jako je jiskra nebo tepelné účinky v obvodu, nedosáhnou takových hodnot energie, aby byly iniciačním zdrojem pro zapálení výbušné atmosféry. V samotném chápání funkce popisované ochrany je zásadní rozdíl. Nepohlíží se zde na zařízení jako na celek, ale rozděluje se z pohledu spotřebič – zdroj. Zdroj bývá většinou umístěn mimo výbušnou atmosféru a ve výbušné atmosféře se nachází jen samotný spotřebič. Problém nastává v případě, že se v obvodu nachází kapacita nebo indukčnost, jelikož tyto prvky jsou akumulátory energie. Energie dodávaná zdrojem do obvodu musí být omezoována na takovou hodnotu, aby nebyla schopna zapálit výbušnou atmosféru. Pokud však se v obvodu navíc nachází výše uvedené akumulátory energie, může při uvolnění dojít k tomu, že se energie zdroje a energie z akumulátoru sečtou a překročí dovolenou hodnotu. Proto se pro omezení využívají buď přídavné odpory, nebo přídavné elektronické obvody. S tímto způsobem řešení bezpečnosti se nejčastěji můžeme setkat u zařízení pracujících s malými výkony, jedná se především o měřicí a regulační zařízení. Principiální schéma je znázorněno na obrázku 3.7. [11], [24].



Obr. 3.7. - Principiální schéma ochrany zařízení s jiskrovou bezpečností [11].

### **3.9. Ochrana typu „n“**

Ochrana typu „n“ není schopna za běžných provozních podmínek zapálit výbušnou atmosféru. Tento typ ochrany je klasifikován jako nižší způsob ochrany. Úroveň bezpečnosti je zde zajištěna jen za normálních podmínek. Neuvažují se ani běžné poruchové stavy. Ochrana typu „n“ byla zavedena asi před 15 lety proto, aby zařízení, které nebylo určeno do prostředí s nebezpečím výbuchu, mohlo pracovat v zóně 2. V budoucnu se předpokládá, že tento typ ochrany zcela zanikne. S ochranou typu „n“ se můžeme setkat v rozváděčových skříních, světlech a majácích v zóně 2.

## 4. Spojování kabelů, rychlospojky, popis, konstrukce, dělení

### 4.1. Úvod

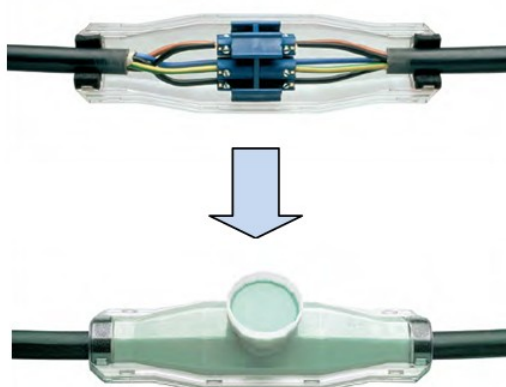
Pro spojování kabelů v důlním prostředí se nejčastěji používají svorkové skříně, zalévací spojky nebo právě rychlospojky. Příklad svorkové spojovací skříně je uveden na obrázku 4.1.. Svorková skříň využívá ochranu proti výbuchu pomocí pevného závěru „d“. V tomto případě se jedná o klasickou svorkovou skříň. Jednotlivé svorky jsou uvnitř skříně umístěny na izolátorech.

Na obrázku 4.2. je uveden příklad spojení pomocí zalévací spojky. Tento způsob spojení kabelu se využívá pro kabely všech průřezů a ochrana před výbuchem je provedena hermetizovaným závěrem „m“.

Další možností pro spojení kabelů je rychlospojka. Rychlospojky v nevýbušném provedení pro důlní prostředí jsou součástí důlního kabelového rozvodu. Mezi nejvíce namáhané části patří ty, které připojují pohyblivé stroje do důlního rozvodu. Právě funkce připojení pohyblivých strojů je realizovaná pomocí rychlospojek.



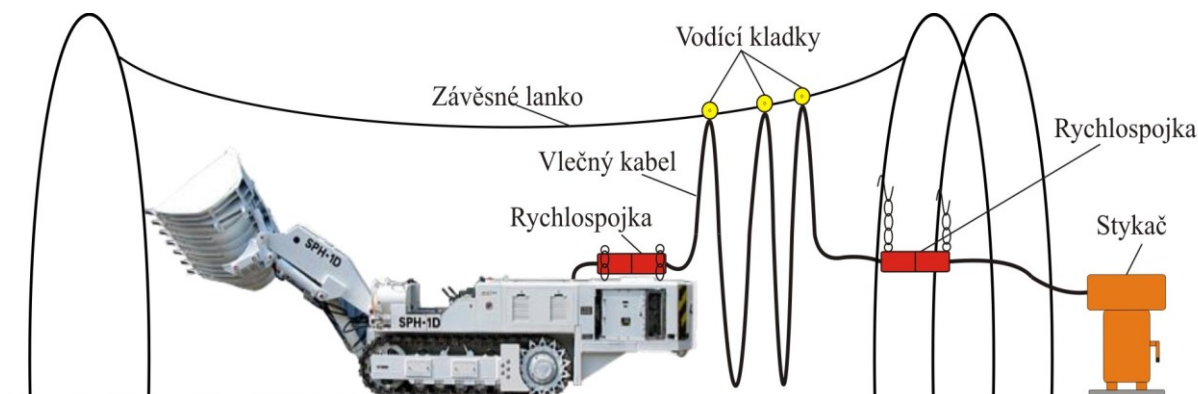
Obr. 4.1. - Důlní nevýbušná svorková krabice [16].



Obr. 4.2. - Zalévací spojka [22].

## 4.2. Použití nevýbušných rychlospojek

Jak již bylo zmíněno, popisovaná rychlospojka slouží k připojování pohyblivých strojů do důlního rozvodu. Jedná se tedy o zařízení určené do prostor s nebezpečím výbuchu prachu a metanu. Připojovanými pohyblivými důlními stroji mohou být například nakladače s bočním výsypem nebo vrtací vozy na pracovištích příprav. Samotné řešení je provedeno tak, že jednou spojkou je připojen vlečný kabel do důlního rozvodu a druhá spojka bývá nejčastěji umístěna v zadní části stroje. Vlečný kabel bývá zavěšen na nosném lanku ve vlnách. Lanko je většinou napnuto mezi dvěma částmi obloukové výztuže. Při pohybu stroje vpřed, se kabel z navinutých vln roztahuje. Rychlospojka tedy plní funkci zástrčky a vidlice, obdobně jako u klasického prodlužovacího vedení. Spojujání a rozpojování musí být provedeno ve stavu bez napětí. Tento proces je zajišťován pomocí stykače. Schematicky je připojení znázorněno na obrázku 4.3.. Na lanku musí být vodící kladky, ke kterým jsou upevněny jednotlivé vlny. Sunutím kladek po lanku je realizováno samotné odvíjení kabelu. Rychlospojky nesmí být umístěny volně na zemi ani na vlečné části kabelu. Z tohoto důvodu je rychlospojka umístěna na stroji a přichycena pomocí řetízků ke konstrukci stroje a rychlospojka, která spojuje vedení od stykače k navinutým vlnám, je zavěšena opět pomocí řetízků na části výztuže. K tomu, aby nedošlo ke zvýšení tahu v kabelu nad dovolenou mez, je u strojů použito zařízení pro vypnutí stroje při překročení dovoleného tahu v kabelu.



Obr. 4.3. - Princip použití rychlospojek.

Jak je z uvedeného obrázku patrné, s postupem přípravného pracoviště se nemusí posouvat stykače a natahovat nové delší vedení, ale stačí koncový vlečný kabel vyměnit za delší a celá aplikace může bez problému dále pracovat.

Další využití uvedených nevýbušných zařízení je možné nejen pro připojení samotného vlečného kabelu ke stroji, ale potřebujeme-li například z časového důvodu propojit narychlo dva úseky kabelového vedení, stejně jako prodloužení v domovním rozvodu, nabízí se tato varianta jako velmi vhodná a bezpečná.

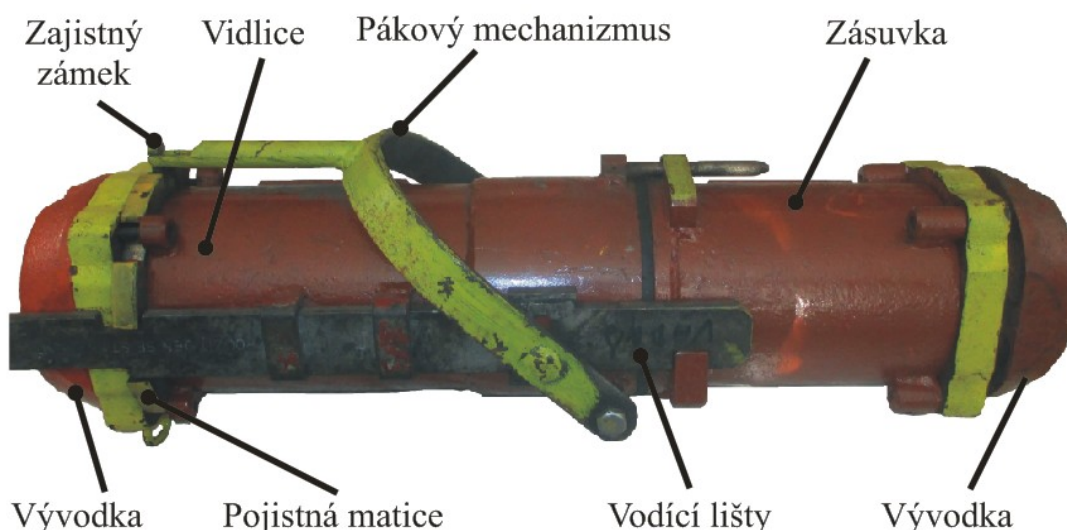
Obrázek 4.3. slouží především pro nastínění funkce a zobrazení aplikace je velmi obecné. Je třeba uvažovat rovněž další parametry, jako je například upevnění vedení od stykače k rychlospojce, souběh tohoto vedení s dalšími vedeními, ať už silovými, ovládacími nebo sdělovacími a další skutečnosti. Toto vše musí být jako ostatní části tvořící elektrický rozvod provedeno a řešeno dle příslušných předpisů, nařízení a podle projektu. Ovšem tato práce řeší jen rychlospojku jako takovou a nezabývá se dalšími okolními požadavky na důlní rozvod, neboť to není úkolem diplomové práce.



### 4.3. Popis a konstrukce rychlospojek

Nevýbušná kabelová rychlospojka používá pro ochranu před nebezpečím výbuchu plynu a prachu pevný závěr „d“ popsáný v kapitole 3.2.. Konstrukce jako taková se skládá ze dvou hlavních částí. První z nich je zásuvka a druhá je vidlice. Po sestavení těchto dvou částí a jejich zajištění tvoří jeden pevný závěr. Plášť pevného závěru je tvořen bezešvou trubkou. Dále, jak již bylo popisováno, spojování a rozpojování zařízení se provádí výhradně za stavu bez napětí, kdy je rovněž zajištěn celý elektrický obvod. Zasouvání a vysouvání je prováděno pákovým mechanismem po vodících lištách, kdy je také nutné při daném procesu manipulovat se zajištěním mechanismem. Zajištění mechanismus využívá pojistnou matici a zajišťovací zámek. Na obou koncích jsou pro připojení kabelu umístěny vývodky a upevnění kabelu je realizováno pomocí třmenů [25].

Popisovaná rychlospojka je uvedena na obrázku 4.4., který ji reprezentuje ve spojeném a zajištěném stavu.



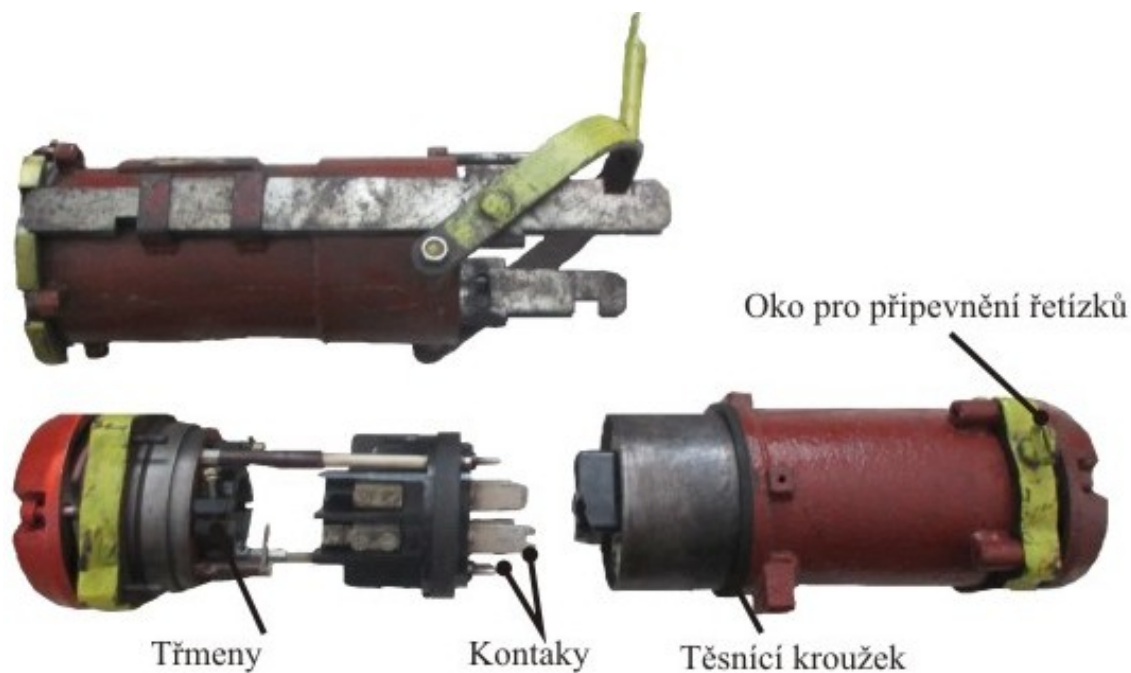
Obr. 4.4. - Nevýbušná rychlospojka.

Rozpojení rychlospojky realizujeme tak, že nejprve odjistíme zajišťovací zámek a provedeme vysunutí páky od těla spojky do polohy, kterou nám umožní pojistná matice. V této poloze již dojde k rozpojení pomocných kontaktů a případnému vypnutí stykače. Jedná se o ochranu rozpojení silových kontaktů pod napětím. Dále je nutné pootočit pojistnou maticí, aby bylo možno páku vysunout zcela od těla spojky. Poté proběhne definitivní rozpojení s tím, že je potřeba vytáhnout zásuvku z vodících lišt. Rychlospojku ve stavu rozpojeném je možno pozorovat na obrázku 4.5., kdy je rovněž vytažena část vidlice.

Po rozpojení rychlospojky se uvnitř nacházejí kontakty, které jsou z elektrického hlediska tím nejdůležitějším. Rychlospojka obsahuje tři hlavní silové kontakty, jeden kontakt ochranný a v našem případě 6 kontaktů pomocných. Kontakty jsou z tvrdé mědi a zasouvají se do sebe. Ochranný kontakt je delší, aby se rozpojoval jako poslední [12].

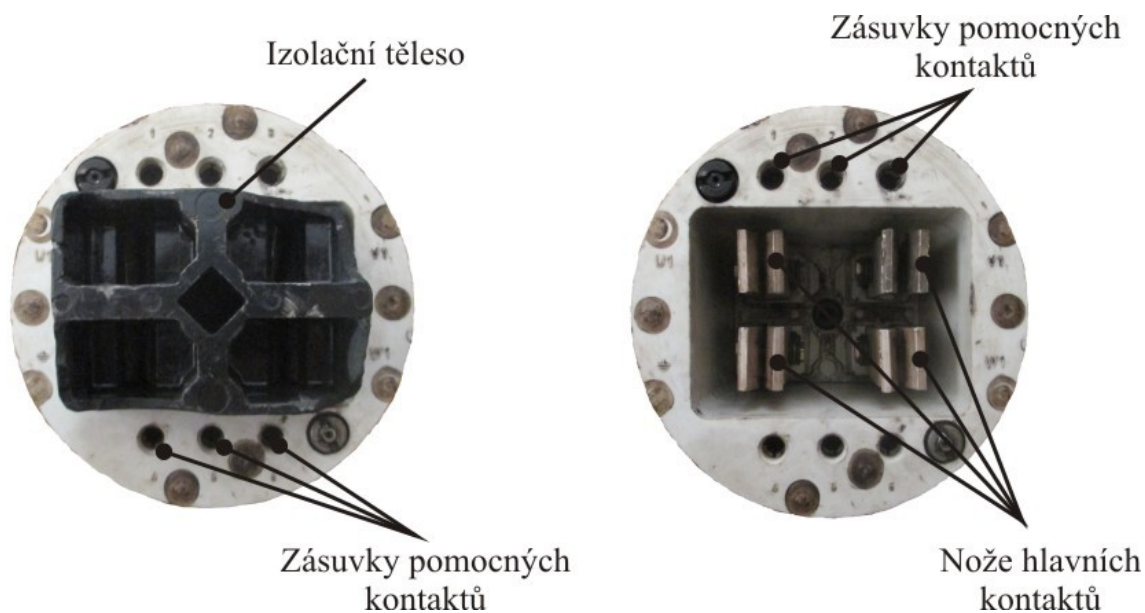
Po rozpojení musí být na jednotlivé části umístěny kryty, kterými se po rozpojení obě půlky uzavrou [12].



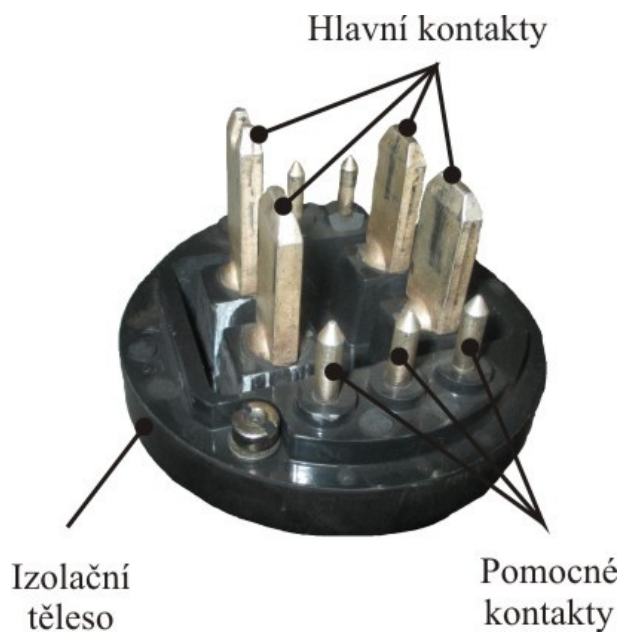


Obr. 4.5. - Rozložená rychlospojka.

Na následujících obrázcích 4.6. a 4.7. jsou uvedeny detaily kontaktního systému. Na obrázku 4.6. můžeme pozorovat část zásuvky s izolačním tělesem a poté bez izolačního tělesa. Obrázek 4.7. prezentuje detail vidlice, kde jsou jasně patrné jak hlavní silové kontakty, tak kontakty pomocné.

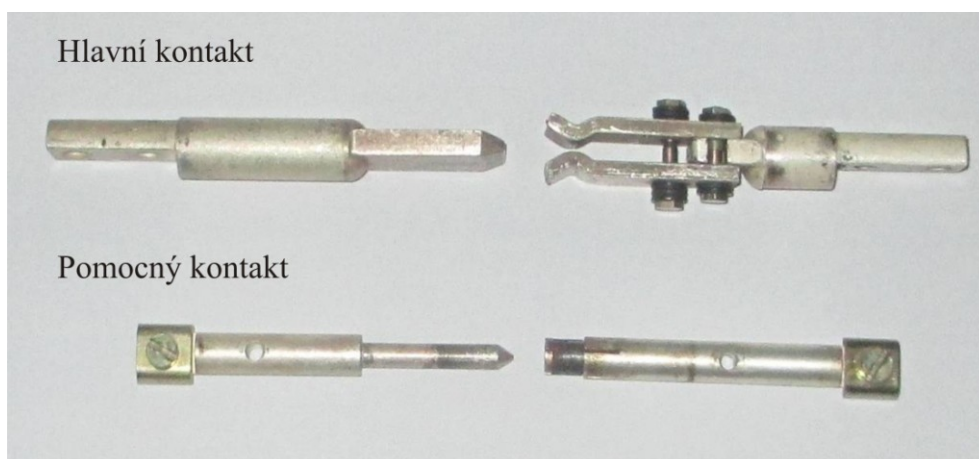


Obr. 4.6. - Detail zásuvky.

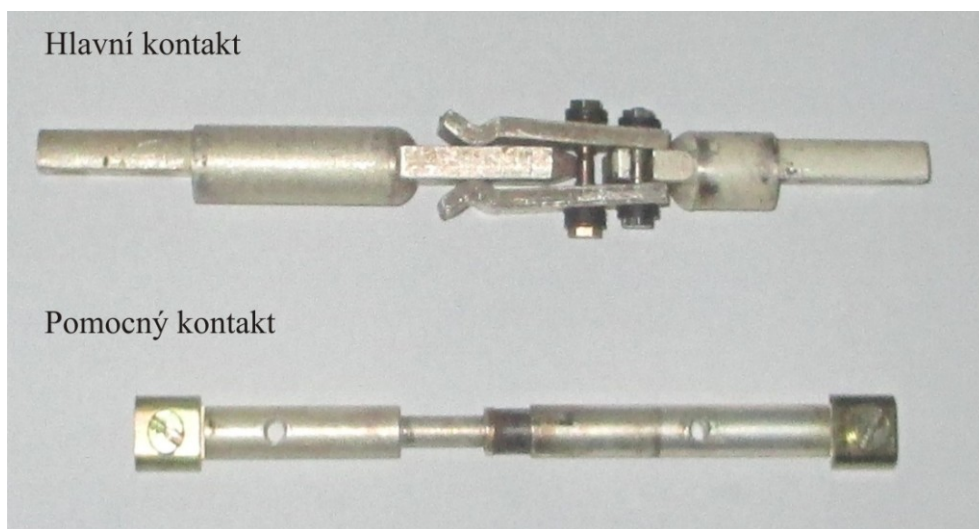


*Obr. 4.7. - Detail vidlice.*

Na následujících obrázcích 4.8. a 4.9. je uveden detail samotného kontaktu jak hlavního silového, tak kontaktu pomocného ve stavu rozpojeném i ve stavu spojeném.



*Obr. 4.8. - Detail rozpojeného hlavního a pomocného kontaktu.*



Obr. 4.9. - Detail spojeného hlavního a pomocného kontaktu.

#### 4.4. Rozdělení rychlospojek

Rozdělení rychlospojek je možno provést podle dvou základních parametrů. Jedná se o jmenovité napětí a jmenovitý proud. S těmito parametry se rovněž mění i velice důležitá praktická skutečnost, a tou je hmotnost. Základní vnější rozměry se při změně napětí a proudu příliš nemění, tedy plášť rychlospojek je identický. Se změnou proudových a napěťových hodnot se však mění vnitřní konstrukce v plášti, kdy například se zvyšující se hodnotou proudu je třeba uvažovat proudovodnou dráhu větších průřezů a se zvyšující se hodnotou napětí je třeba uvažovat větší izolační vzdálenosti a lepší izolanty v plášti rychlospojky.

Pokud se zaměříme na rozdělení z hlediska jmenovitého napětí, tak nejčastěji tyto rychlospojky v důlním rozvodu nalezneme u napěťových hladin 500 a 1000 V.

Rozdělení rychlospojek z hlediska proudu je složitější, protože musíme uvažovat, jaké zařízení je do důlního rozvodu připojeno. Odtud se odvíjí velké množství hodnot jmenovitých proudů, a tedy i různých průřezů proudovodných drah, a s tím i velké rozsahy hmotností.

Pro příklad jsou v následující tabulce 4.1. uvedeny parametry dnes vyráběných rychlospojek dle katalogového listu. Uvedené typy jsou NKR 1000/160 a NKR 1000/360.

Tab. 4.1 - Parametry nevýbušné rychlospojky NKR 1000/160 a NKR 1000/ 360 [25].

Rychlospojka	NKR 1000/160	NKR 1000/360
Provedení	I M2 Exd I	I M2 Exd I
Napájecí napětí hlavních kontaktů	1000 V / AC	1000 V / AC
Napájecí napětí pomocných kontaktů	230 V / AC	230 V / AC
Maximální proudovnnodné zatížení hl. kontaktů	160 A / AC	360 A / AC
Jmenovitý proud pomocných kontaktů	6 A / AC	6 A / AC
Pracovní poloha	libovolná	libovolná
Průřez hl. žil	25 až 70 mm <sup>2</sup>	25 až 95 mm <sup>2</sup>
Průřez pom. žil	2,5 až 10 mm <sup>2</sup>	2,5 až 10 mm <sup>2</sup>
Teplota okolí	0 °C až + 40 °C	0 °C až + 40 °C
Relativní vlhkost	85 %	85 %
Krytí	IP54	IP54
Rozměry	cca 680 x 180 mm (sestavená)	cca 680 x 180 mm (sestavená)
Hmotnost	35 kg	51 kg

Jak označení napovídá, zkratka NKR 1000/160 značí nevýbušnou kabelovou rychlospojku pro napěťovou hladinu 1000 V a jmenovitý proud 160 A. V poslední zvýrazněné kolonce je uvedena hmotnost. Můžeme zde pozorovat, že při zachování stejných parametrů napětí a změně proudu o 200 A se změnila hmotnost o 16 kg, přičemž rozměry zůstávají identické.

Podle druhu použití lze rychlospojky rozdělit na základě počtu pomocných kontaktů, kdy některé rychlospojky mohou mít 1 pomocný kontakt a některé 6. Zde opět záleží na druhu zařízení, pro které je rychlospojka použita. Je však výhodnější používat rychlospojky s větším počtem pomocných kontaktů, které není nutné využít.

## 5. Návrh a výpočet rychlospojky

Samotný návrh rychlospojky je proveden dle níže uvedené posloupnosti. Uvažován je tedy tento postup:

- Návrh hlavního kontaktu.
- Kontrola hlavního kontaktu.
- Návrh pomocných kontaktů.

### 5.1. Návrh hlavního kontaktu

#### 5.1.1. Požadavky na kontakty

Kontakty slouží pro vodivé spojení dvou oddělovaných částí a jsou na ně kladeny různé požadavky [3]:

- malý stykový odpor,
- velká odolnost proti mechanickému opotřebení,
- velká odolnost proti svaření,
- velká odolnost proti působení elektrického oblouku,
- optimální vliv na vývoj deionizačních pochodů po uhasnutí elektrického oblouku.

#### 5.1.2. Kontaktní materiál

Jako kontaktní materiál se dnes využívají čisté kovy, materiály vyráběné práškovou metalurgií, rovněž také oxidy, karbidy, boridy a silicidy [3].

V následujících kapitolách jsou popsány materiály, které přicházejí v úvahu pro výrobu kontaktů rychlospojky.

##### 5.1.2.1. Čisté stříbro

Stříbro vykazuje nejvyšší tepelnou a elektrickou vodivost ze všech kontaktních materiálů. Oblast použití čistého stříbrného materiálu je limitovaná tím, že čisté stříbro je náchylné na svaření. Z tohoto důvodu se čisté stříbro v praxi příliš nevyskytuje, ale využívá se v kombinaci s oxidem kademnatým. Rovněž velice využívanou aplikaci stříbra je galvanické postříbření [7].

##### 5.1.2.2. Měď

Pro kontaktní materiál se používá měď tvrdá nebo polotvrdá. Měkká měď se nepoužívá. Negativní vlastností mědi je její oxidace. Využití pro kontakty je nad hodnotou 200 A. Jako čistý kontaktní materiál se však měď příliš neuplatňuje. Využívá se v kombinaci s wolframem, stříbrem nebo se využívá měď, která je galvanicky postříbřená [7].

### 5.1.2.3. Slitina stříbro – měď

Obsah stříbra je zde do 20 %, přičemž nejčastěji se obsah mědi pohybuje v rozmezí 3 – 7,5 %. Pokud se zvyšuje obsah mědi, zvyšuje se tím i tvrdost, ovšem klesá elektrická a tepelná vodivost. Rovněž dochází i ke snižování chemické odolnosti [7].

Srovnání vlastností těchto popisovaných materiálů je uvedeno v následující tabulce 5.1.

Tab 5.1 - Vlastnosti kontaktních materiálů [5], [15].

<b>Materiál</b>	<b>Stříbro</b>	<b>Měď</b>	<b>AgCu - 3</b>	<b>AgCu - 20</b>
Teplota tání (°C)	960	1083	940	779
Hustota ( $10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^3$ )	10,5	8,9	10,4	10,2
Měrný elektrický odpor $\rho_{20}$ ( $10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ )	1,6	1,75	1,82	2
Tepelná vodivost ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )	418	385	368	335
Napětí měknutí (V)	0,09	0,12	-	-
Napětí svaření (V)	0,35	0,43	-	-
Pevnost v tahu (MPa)	180 - 320	220 - 400	300 - 450	320 - 500

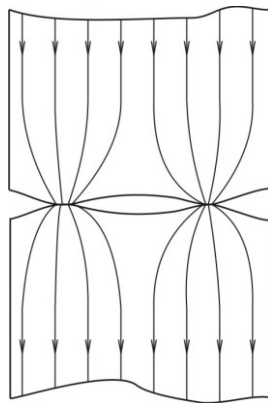
Pokud zohledníme vlastnosti materiálů v tabulce 5.1., a především dnes vyráběné rychlospojky, budu uvažovat, že kontakty jsou z tvrdé mědi a jsou postříbřeny. Jelikož se v dolech nachází agresivní prostředí, je postříbření pro v tomto případě velmi vhodné, neboť měď se nebude na povrchu okysličovat a přechodový odpor se nebude výrazně měnit.

### 5.1.3. Stykový odpor

Předpokládejme dva kovové dílce s rovnými plochami, které k sobě přitlačíme silou, čímž realizujeme jejich styk. Zobrazením styku těchto ploch pod mikroskopem bychom zjistili, že k němu nedochází v celé ploše, ale jen na několika málo ploškách. Tato skutečnost je důsledkem mikroskopických nerovností. V případě, že oba dílce by byly z absolutně tvrdého materiálu a působili bychom na ně nekonečně velkou silou, dotyk by nastal maximálně ve třech místech. Materiály jsou však deformovatelné, a proto při vysoké působící přitlačné síle se plošky zvětšují a rovněž vznikají další místa styku. Pokud sečteme jednotlivé plošky, je celková styková plocha dána vztahem 5.1. [3], [4].

$$S = \frac{F_k}{\xi \cdot H} \quad (\text{m}^2) \quad (5.1.)$$

Pokud bude přes dílce protékat proud, budou se jednotlivé proudnice zhušťovat právě do popisovaných plošek. Schematicky je tato situace znázorněna na obrázku 5.1. [4].



Obr. 5.1. - Znázornění úžinového odporu [4].

Velikost stykového odporu však není dána jen odporem úžinovým, ale rovněž je třeba uvažovat odpor cizích vrstev, které vznikají na kontaktu působením okolní atmosféry. Pojmem cizí vrstvy označujeme všechny vrstvy na kontaktu. Celkový stykový odpor pak můžeme vyjádřit vztahem 5.2. [5].

$$R_s = R_u + R_p \quad (\Omega) \quad (5.2.)$$

Pokud provedeme jednotlivá odvození a úpravy tohoto výchozího vztahu, dostaneme vztah 5.3., který vyjadřuje celkový stykový odpor [4].

$$R_s = k \cdot F^{-m} \quad (\Omega) \quad (5.3.)$$

Ve vztahu 5.3. značí koeficient  $k$  vlastnosti samotného materiálu, vlastnosti cizích vrstev a poměry v místě styku. Koeficient  $m$  zohledňuje druh styku. Druhy styků můžeme rozdělit na bodový, přímkový a plošný [4].

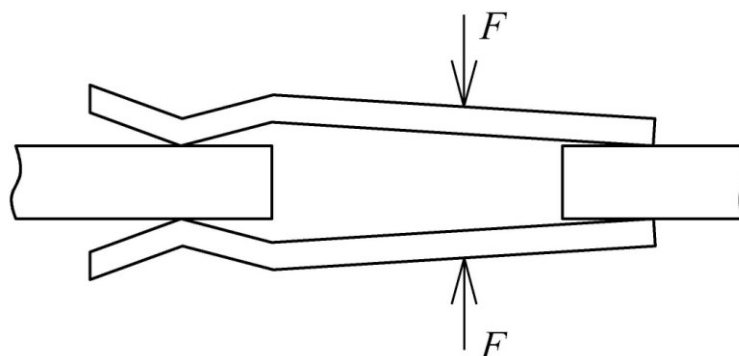
Bodový styk vznikne křížovým stykem, stykem dvou kulových ploch nebo stykem kulové plochy a roviny. Jeho výhodou je, že proudová cesta je jednoznačně daná. Nevýhodou je, že se dříve opotřebí hlavně z hlediska mechanického [4].

Přímkový styk vzniká například mezi válcem a rovinou. Hlavní výhodou je, oproti styku bodovému, jeho mechanická odolnost [4].

Styk plošný vzniká mezi dvěma plochami. Konstrukčně jde o nejsložitější druh styku, jenž je velmi výhodný z mechanického a tepelného hlediska [4].

#### 5.1.4. Volba typu kontaktu

Pro volbu druhu použitého kontaktu vycházíme především z již existujících rychlospojek. Na obrázku 4.9. je uveden použitý druh kontaktu. Při návrhu je rovněž nutné zohlednit prostorové omezení, neboť kontakty se nacházejí v uzavřeném plášti, a zároveň jsou umístěny v izolačním tělese, proto je potřeba uvažovat zhoršený odvod tepla. Pro návrh kontaktu je nezbytné, aby v něm při průchodu proudu vznikaly co nejmenší ztráty. Při spojení hlavních kontaktů musí nůž zajet dále, aby došlo ke spojení pomocných kontaktů. Byl tedy zvolen kontakt nožový, spolu s kombinací pružin. Tím docílíme jak minimálních rozměrů, tak dostatečné přitlačné síly. Na obrázku 5.2. je uvedeno schematické uspořádání popisovaného kontaktu.



Obr. 5.2. - Schéma kontaktu.

#### 5.1.5. Návrh základních rozměrů kontaktu

Podle literatury [5] se proudová hustota předběžně volí v rozmezí  $2 - 4 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$ , a poté se provede výpočet. S ohledem na projekty řešené během studia a s ohledem na to, že kontakty jsou umístěny ve špatném vodiči tepla, volím proudovou hustotu  $1,5 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$ . Dále je výpočet proveden s pomocí literatury [5].

$$J = 1,5 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (5.4.)$$

Této proudové hustotě odpovídá pro jmenovitý proud 200 A tato plocha:

$$S' = \frac{I}{J} = \frac{200}{1,5} = 133,3 \text{ mm}^2 \quad (5.5.)$$

Roubík pak bude mít průměr:

$$d' = \sqrt{\frac{4 \cdot S'}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 133,3}{\pi}} = 13,1 \text{ mm} \quad (5.6.)$$

Uvažovaný průměr bude mít hodnotu  $d = 15 \text{ mm}$ .



Skutečný průřez pak bude mít hodnotu:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 15^2}{4} = 176,71 \text{ mm}^2 \quad (5.7.)$$

Tato hodnota je výchozí pro návrh rozměrů kontaktního nože. Proto, aby byla dodržena zvolená proudová hustota, bude šířka kontaktního nože  $h = 20 \text{ mm}$  a tloušťka  $b = 7 \text{ mm}$ . Skutečný průřez pak bude mít hodnotu:

$$S = h \cdot b = 20 \cdot 7 = 140 \text{ mm}^2 \quad (5.8.)$$

Rozměry přitlačných kontaktů, s ohledem na proudovou hustotu, jsou zvoleny následovně. Tloušťka bude  $b = 4 \text{ mm}$  a délka s předpokládaným zasunutím kontaktního nože  $15 \text{ mm}$ , mezi přitlačnými kontakty bude  $50 \text{ mm}$ .

Proto, abych mohl dále pokračovat, je nezbytné znát zkratový proud, který by mohl navrženými kontakty protékat. Z tohoto důvodu je v další kapitole uveden výpočet.

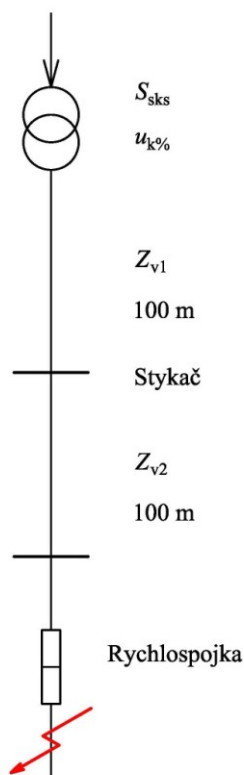
#### 5.1.6. Výpočet zkratového proudu

Výpočet je proveden podle literatury [8] a [18]. Parametry výkonů a procentních napětí nakrátko používaných důlních transformátorů pro napětovou hladinu  $1 \text{ kV}$  sekundárního napětí jsou uvedeny v následující tabulce 5.2., kdy byly vybrány nejpoužívanější druhy transformátorů typu IT3 Sb – Q. Tyto transformátory se nacházejí co možná nejbližší k důlnímu pracovišti, které napájí.

Tab 5.2. - Vybrané parametry důlních transformátorů [10].

$S \text{ (kV} \cdot \text{A)}$	$u_k \text{ (\%)}$
315	3,7
400	4,3
630	4,3

Od transformátoru o daném výkonu uvedeném v tabulce 5.2., je rozvod proveden kabelem ke stykačové skříni. Pro tento případ je zvolena délka kabelu  $100 \text{ m}$ , ovšem v dole může jeho délka nabývat hodnot i několika set metrů. Od stykače je veden vlečný kabel až k rychlospojce. Délka vedení je zvolena opět  $100 \text{ m}$ . Největší poruchový proud poteče, pokud nastane porucha hned za rychlospojkou. Na obrázku 5.3. je uvedeno situační schéma pro výpočet zkratového proudu.



Obr. 5.3.- Situační schéma pro výpočet zkratového proudu.

Na obrázku 5.3. je znázorněno schéma situace pro výpočet zkratového proudu, kdy rozvodna předřazená transformátoru může mít podle [23] pro napětovou hladinu 6 kV maximální zkratový výkon 100 MV·A. Pro výpočet je tedy tato hodnota brána jako výchozí.

$$S_{sks} = 100 \text{ MV} \cdot \text{A} \quad (5.9.)$$

Zvolený kabel typu O2nGcež - G 0,6/1 kV pro proudové zatížení 200 A má dle katalogu [21] průřez žíly 50 mm<sup>2</sup> a jeho parametry jsou  $R_k = 0,393 \, \Omega \cdot \text{km}^{-1}$ ,  $L_k = 0,29 \, \text{H} \cdot \text{km}^{-1}$ . Jedná se o kabel určený pro použití v dole, který je polské výroby. Odtud pramení i jeho označení.

$$R_k = 0,393 \, \Omega \cdot \text{km}^{-1} \quad (5.10.)$$

$$L_k = 0,29 \, \Omega \cdot \text{km}^{-1} \quad (5.11.)$$

Výpočet indukční reaktance:

$$X_k = \omega \cdot L_k = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,29 = 0,0911 \, \Omega \cdot \text{km}^{-1} \quad (5.12.)$$

Výpočet impedance kabelového vedení:

$$Z_k = \sqrt{R_k + X_k} = \sqrt{0,393 + 0,0911} = 0,41 \Omega \cdot \text{km}^{-1} \quad (5.13.)$$

Uvažovaný kabel je stejný jak pro vedení od transformátoru ke stykači, tak pro vedení od stykače k rychlospojce.

Zvolené vztažné hodnoty pro výpočet jsou:

$$S_v = 10 \text{ MV} \cdot \text{A} \quad (5.14.)$$

$$U_v = 1000 \text{ V} \quad (5.15.)$$

Výpočet procentní impedance napájecí sítě [8]:

$$Z_s = c \cdot \frac{S_v}{S_{sks}} \cdot 100 = 1,1 \cdot \frac{10}{100} \cdot 100 = 11\% \quad (5.16.)$$

$c$  – koeficient respektující zatížení stroje dle [8] zvolen na hodnotu 1,1.

Výpočet procentní impedance transformátorů [8]:

$$Z_T = u_{k\%} \cdot \frac{S_v}{S_T} \quad (5.17.)$$

$$Z_{T1} = u_{k\%1} \cdot \frac{S_v}{S_{T1}} = 3,7 \cdot \frac{10}{0,315} = 117\% \quad (5.18.)$$

$$Z_{T2} = u_{k\%2} \cdot \frac{S_v}{S_{T2}} = 4,3 \cdot \frac{10}{0,4} = 108\% \quad (5.19.)$$

$$Z_{T3} = u_{k\%3} \cdot \frac{S_v}{S_{T3}} = 4,3 \cdot \frac{10}{0,63} = 68\% \quad (5.20.)$$

Z jednotlivých výsledků procentních impedancí transformátorů, nastává u transformátoru o zdánlivém výkonu 630 kV·A nejnejpříznivější případ. Pro další výpočet tedy budu uvažovat tento nejhorší případ.

Výpočet procentní impedance kabelových vedení [8]:

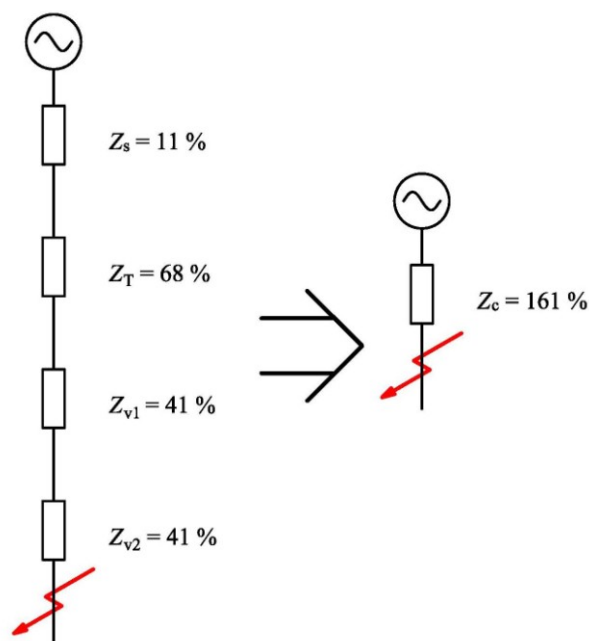
$$Z_v = Z_k \cdot l = Z_k \cdot l = 0,41 \cdot 0,1 = 0,041 \Omega \quad (5.21.)$$

$$Z_{v1} = Z_{v2} = \frac{Z_v}{U_v^2} \cdot S_v \cdot 100 = \frac{0,041}{1^2} \cdot 10 \cdot 100 = 41\% \quad (5.22.)$$

Hodnota ze vzorce 5.22. platí pro obě vedení. Na následujícím obrázku 5.4. je uvedeno na levé straně jednotlivé rozložení procentních impedancí ve schématu a následně zjednodušení je uvedeno v pravé části obrázku.

Výpočet celkové procentní impedance [8]:

$$Z_c = Z_s + Z_{T3} + Z_{v1} + Z_{v2} = 11 + 68 + 41 + 41 = 161\% \quad (5.23.)$$



Obr. 5.4. - Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu.

Výpočet vztažného proudu [8]:

$$I_v = \frac{S_v}{\sqrt{3} \cdot U_v} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 1} = 5,77 \text{ kA} \quad (5.24.)$$

Výpočet počátečního rázového zkratového proudu [8]:

$$I_{KS} = c \cdot \frac{I_v}{Z_v} \cdot 100 = 1,1 \cdot \frac{5,77}{161} \cdot 100 = 3,94 \text{ kA} \quad (5.25.)$$

Pro výpočet nárazového zkratového proudu je uvažováno s nejnepříznivější situací, kdy je uvažován maximální nárůst stejnosměrné složky. Proto je za součinitel nárazového zkratového proudu dosazena hodnota 2,1 [18].

Výpočet nárazového zkratového proudu [8]:

$$I_{KM} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_{KS} = 2,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,94 = 11,7 \text{ kA} \quad (5.26.)$$

Jelikož bylo neustále počítáno s nejnejpříznivějšími možnými situacemi, neměl by zkratový proud přesáhnout vypočtenou hodnotu. Pro další výpočet budu uvažovat s hodnotou zkratového proudu zaokrouhlenou na  $I_k = 12 \text{ kA}$ .

### 5.1.7. Výpočet stykového odporu

Pro výpočet stykového odporu vycházím ze vztahu 5.3.. Dále bylo zmíněno, že kontakty budou vyrobeny z tvrdé mědi a budou postříbřeny. Rovněž je třeba uvažovat, že provozem se stříbrná vrstva pomalu opotřebuje a ničí. Ovšem i u tohoto stavu musí navržené kontakty plnit svou funkci. Konstanty pro vzorec 5.3. jsou určeny z literatury [5], kde  $k = 0,8 \cdot 10^{-4}$  a  $m = 0,5$ .

Rovněž bylo provedeno odečtení hodnot pro napětí měknutí a napětí svaření pro měď z literatury [3]. Odečtená napětí mají hodnoty  $U_{sm} = 0,12 \text{ V}$ ,  $U_{ss} = 0,43 \text{ V}$ .

Výpočet bezpečného provozního stykového odporu [5]:

$$R_{s1} = \frac{U_{sm}}{2 \cdot I_n} = \frac{0,12}{2 \cdot 0,5 \cdot 200} = 6 \cdot 10^{-4} \Omega \quad (5.27.)$$

Jmenovitý proud je uvažován poloviční, neboť se předpokládá, že se rovnoměrně rozloží na oba přítlačné kontakty.

Tomuto odpovídá přítlačná síla [5]:

$$F_{k1} = \left( \frac{k_{cu}}{R_{s1}} \right)^{\frac{1}{m}} = \left( \frac{8 \cdot 10^{-4}}{6 \cdot 10^{-4}} \right)^{\frac{1}{0,7}} = 1,51 \text{ N} \quad (5.28.)$$

Výpočet stykového odporu na mezi svaření [5]:

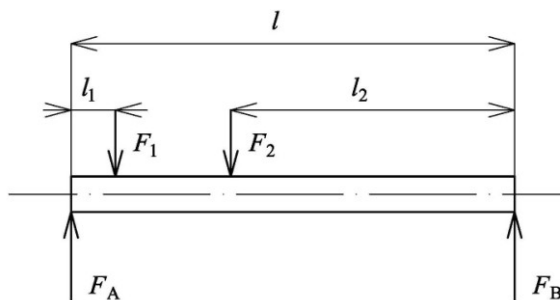
$$R_{s2} = \frac{U_{ss}}{N \cdot I_k} = \frac{0,43}{1,5 \cdot 0,5 \cdot 12 \cdot 10^3} = 4,78 \cdot 10^{-5} \Omega \quad (5.29.)$$

Parametr  $N$  je volen podle literatury [5].

Minimální nutná velikost přítlačné síly [5]:

$$F_{k2} = \left( \frac{k_{cu}}{R_{s2}} \right)^{\frac{1}{m}} = \left( \frac{8 \cdot 10^{-4}}{4,78 \cdot 10^{-5}} \right)^{\frac{1}{0,7}} = 55,98 \text{ N} \quad (5.30.)$$

Jelikož při provozu dojde k zahřátí kontaktu, zvýší se i kontaktní odpor. Z tohoto důvodu zvýším přítlačnou sílu na hodnotu 80 N. Pro zajištění této síly, volím dvojici talířových pružin. Místa působení pružin jsou patrné z obrázku 5.5..



Obr. 5.5. - Místa působení kontaktních pružin.

Jednotlivé vzdálenosti na obrázku 5.5. mají rozměr  $l_1 = 5 \text{ mm}$ ,  $l_2 = 33 \text{ mm}$ ,  $l = 50 \text{ mm}$ . Nyní hledám síly, které působí na jednotlivé body. Síly musí být takové, aby síla přtlaku  $F_B$  nabývala hodnoty alespoň 80 N.

Vycházím z podmínky, aby síly, které vyvodí obě pružiny, byly stejné.

$$F_1 = F_2 = F \quad (5.31.)$$

Na základě obrázku 5.5. lze psát:

$$l_1 \cdot F + (l - l_2) \cdot F - F_B \cdot l = 0 \quad (5.32.)$$

Odtud se vyjádří síla  $F$ :

$$F = \frac{F_B \cdot l}{l + l_1 - l_2} = \frac{80 \cdot 50}{50 + 5 - 33} = 182 \text{ N} \quad (5.33.)$$

Přítlačná síla v místě A:

$$F_A = \frac{F \cdot l_2 + (l - l_1) \cdot F}{l} = \frac{182 \cdot 33 + (50 - 5) \cdot 182}{50} = 284 \text{ N} \quad (5.34.)$$

Přítlačná síla v místě B:

$$F_B = \frac{F \cdot l_1 + (l - l_2) \cdot F}{l} = \frac{182 \cdot 5 + (50 - 33) \cdot 182}{50} = 81 \text{ N} \quad (5.35.)$$

Skutečný stykový odpor v místě A:

$$R_A = \frac{k}{F_A^m} = \frac{8 \cdot 10^{-4}}{284^{0,7}} = 1,54 \cdot 10^{-5} \Omega \quad (5.36.)$$

Skutečný stykový odpor v místě B:

$$R_B = \frac{k}{F_B^m} = \frac{8 \cdot 10^{-4}}{76^{0,7}} = 3,68 \cdot 10^{-5} \Omega \quad (5.37.)$$

Tyto hodnoty odporů platí pro teplotu 20 °C, ovšem je nutné předpokládat, že se stykový odpor může ohřát. Z tohoto důvodu je uvažováno oteplení na 80 °C. Pro přepočítání hodnot ze vztahu 5.38. a 5.39. lze využít vztahu 5.40. z literatury [5], který se potřebně upraví.

$$R_g = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta) \quad (\Omega) \quad (5.38.)$$

Skutečný stykový odpor v místě A pro teplotu 80 °C:

$$R_{A80} = R_{A20} \cdot (1 + \alpha_{cu} \cdot \Delta\vartheta) = 1,54 \cdot 10^{-5} \cdot [1 + 3,9 \cdot 10^{-3} \cdot (80 - 20)] = 1,9 \cdot 10^{-5} \Omega \quad (5.39.)$$

Skutečný stykový odpor v místě B pro teplotu 80 °C:

$$R_{B80} = R_{B20} \cdot (1 + \alpha_{cu} \cdot \Delta\vartheta) = 3,68 \cdot 10^{-5} \cdot [1 + 3,9 \cdot 10^{-3} \cdot (80 - 20)] = 4,54 \cdot 10^{-5} \Omega \quad (5.40.)$$

Celkový stykový odpor bude rozložen na 2 dílčí odpory:

$$R_c = \frac{R_{A80} + R_{B80}}{2} = \frac{1,9 \cdot 10^{-5} + 4,54 \cdot 10^{-5}}{2} = 3,22 \cdot 10^{-5} \Omega \quad (5.41.)$$

Ztráty ve stykových odporech při 80 °C:

$$\Delta P = R_c \cdot I_n^2 = 3,22 \cdot 10^{-5} \cdot 200^2 = 1,29 \text{ W} \quad (5.42.)$$

#### 5.1.8. Návrh talířových pružin

Požadavku na sílu  $F = 182 \text{ N}$  a požadavku na největší zdvih odpovídá pružina podle literatury [17]. Označení pružiny je 10 x 4,2 x 0,4 x 0,7, parametry jsou uvedeny v tabulce 5.3..

Tab 5.3 - Parametry pružiny [17].

$D$ (mm)	$d$ (mm)	$t$ (mm)	$H$ (mm)	$s$ (mm)	$F_p$ (N)	$\sigma$ (MPa)
10	4,2	0,4	0,7	0,225	210	1310

Výpočet zdvihu pro sílu 182 N [26]:

$$s_1 = s \cdot \frac{F}{F_p} = 0,225 \cdot \frac{182}{210} = 0,2 \text{ mm} \quad (5.43.)$$

Pro dosažení vyššího zdvihu lze použít soustavu tří pružin, které budou s protilehlým uložením [26].

### 5.1.9. Kontrola namáhání na ohyb

Nejvíce namáhána místa budou ta, ve kterých působí pružiny. Je to způsobeno tím, že po vyvrtání děr pro svorníky talířových pružin, došlo v těchto místech k zeslabení materiálu.

Výpočet ohybového momentu v místě působení síly  $F_A$  [2]:

$$M_1 = F_A \cdot l_1 = 284 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 1,42 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (5.44.)$$

Výpočet ohybového momentu v místě působení síly  $F_B$  [2]:

$$M_2 = F_B \cdot l_2 = 81 \cdot 33 \cdot 10^{-3} = 2,67 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (5.45.)$$

Příčný kontakt má šířku 20 mm a je v něm vyvrtaná díra o průměru 4,2 mm, skutečná šířka je tedy 15,8 mm. Navržena tloušťka kontaktu je 4 mm. Dovolené namáhání v ohybu pro měď má hodnotu  $\sigma_{\text{dov}} = 85 \text{ MPa}$  [2].

Podle literatury [2], [19]:

$$W_o = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{15,8 \cdot 4^2}{6} = 4,21 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \quad (5.46.)$$

$$M_o = W_o \cdot \sigma_{\text{dov}} = 4,21 \cdot 10^{-8} \cdot 85 \cdot 10^6 = 3,58 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (5.47.)$$

Z výpočtů je patrné, že hodnota momentu ohybu je vyšší než ohybový moment v místě 1 a 2. Návrh je tedy proveden správně.

## 5.2. Kontrola hlavního kontaktu

### 5.2.1. Kontrola na silové účinky

Proud, který protéká kontakty, působí na kontakt svými silovými účinky. U jmenovitého proudu je možné tyto účinky zanedbat, neboť v tomto případě jsou silové účinky malé. Je nutné je však uvažovat v případě průchodu zkratového proudu, neboť síla je úměrná druhé mocnině protékajícího proudu. Tím může dojít i k oddálení kontaktů a vzniku elektrického oblouku, který má za následek poškození kontaktů, například svaření nebo jeho destrukce [6].

V proudové úžině dochází ke zhušťování proudových čar. Důsledkem toho je jejich vzájemné silové působení. Síla vyvolaná zúžením proudové dráhy se snaží kontakty oddálit. Z toho vyplývá, že působí proti kontaktnímu styku. V literatuře je pro tento stav odvozen vzorec 5.48. [6].

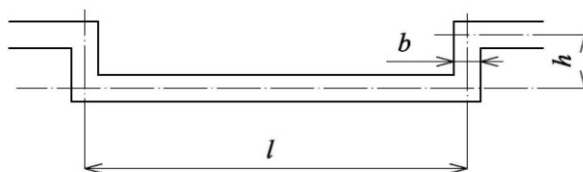
$$F_u = 10^{-7} \cdot I^2 \cdot \ln \frac{D}{d} \quad (\text{N}) \quad (5.48.)$$



Dále je třeba uvažovat sílu, která vzniká ohybem proudu v proudovodné dráze. V tomto případě se řeší takzvaný pravoúhlý záhyb. Tato síla působí rovněž proti kontaktní síle a její vyjádření je uvedeno vzorcem 5.49. [6].

Jednotlivé parametry ve vzorci 5.49. jsou patrné z obrázku 5.6. [6].

$$F_D = 2 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 \cdot \ln \frac{2 \cdot l}{b} \cdot \frac{h + \sqrt{h^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}}{h + \sqrt{h^2 + l^2}} \quad (\text{N}) \quad (5.49.)$$



Obr. 5.6. - Pravoúhlý záhyb [6].

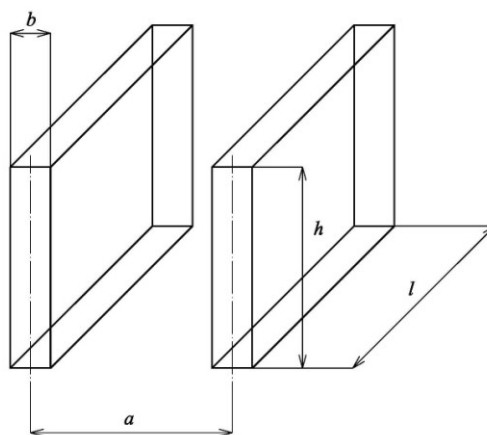
Na kontaktní systém rovněž působí přitlačná síla vyvozená průtokem proudu paralelními kontakty. Tato síla působí do kontaktního systému, a tedy částečně pokrývá působení síly pravoúhlého záhybu a síly úžiny. Vyjádření přitlačné síly je dáno vzorcem 5.50. [6].

$$F_p = 2 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot k_p \quad (\text{N}) \quad (5.50.)$$

Činitel  $k_p$  lze vyjádřit vzorcem 5.51. [6].

$$k_p = \frac{a^2}{h^2} \cdot \left[ \frac{2 \cdot h}{a} \cdot \arctg \frac{h}{a} - \ln \left( 1 + \frac{h^2}{a^2} \right) \right] \quad (5.51.)$$

Jednotlivé parametry ve vzorci 5.50. jsou patrné z obrázku 5.7. [6].



Obr. 5.7. - Schéma paralelních kontaktů [6].

Pro výpočet se uvažují kontakty z tvrdé mědi. Tvrdost je podle literatury [5]  $H = 350$  až  $700$  MPa, volím hodnotu  $500$  MPa. Pro výpočet stykové plochy využiji vzorec 5.1..

Výpočet plochy styku v místě A:

$$S_o = \frac{F_A}{\xi \cdot H} = \frac{284}{0,98 \cdot 5 \cdot 10^8} = 5,79 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \quad (5.52.)$$

V literatuře [4] se uvádí, že hodnota koeficientu  $\xi$  je menší nebo rovna 1 a ve většině případů se blíží 1.

Výpočet průřezu kontaktu:

$$S = h \cdot b = 20 \cdot 4 = 80 \text{ mm}^2 \quad (5.53.)$$

Vzorec 5.48. lze upravit a použít pro výpočet síly v úžině v místě A:

$$F_{uA} = 10^{-7} \cdot I^2 \cdot \ln \frac{S}{S_o} = 10^{-7} \cdot \left( \frac{12 \cdot 10^3}{2} \right)^2 \cdot \ln \frac{80}{5,79 \cdot 10^{-7}} = 67,47 \text{ N} \quad (5.54.)$$

Výpočet plochy styku v místě B:

$$S_o = \frac{F_A}{\xi \cdot H} = \frac{81}{0,98 \cdot 5 \cdot 10^8} = 1,65 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \quad (5.55.)$$

Výpočet síly v úžině v místě B:

$$F_{uB} = 10^{-7} \cdot I^2 \cdot \ln \frac{S}{S_o} = 10^{-7} \cdot \left( \frac{12 \cdot 10^3}{2} \right)^2 \cdot \ln \frac{80}{1,65 \cdot 10^{-7}} = 71,99 \text{ N} \quad (5.56.)$$

Pro výpočet síly v pravoúhlém záhybu vycházím z předpokladu průchodu proudu v ose pásu. Oba přitlačné kontakty budu uvažovat jako jeden vodič, na který působí poloviční síla. Parametry pro výpočet jsou  $l = 50$  mm, střední vzdálenost je  $h = 7,5$  mm a  $b = 4$  mm. Pro výpočet vycházím ze vzorce 5.49.:

$$F_D = 2 \cdot 10^{-7} \cdot I^2 \cdot \ln \frac{2 \cdot l}{b} \cdot \frac{h + \sqrt{h^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2}}{h + \sqrt{h^2 + l^2}} \quad (5.57.)$$

$$F_D = 2 \cdot 10^{-7} \cdot (12 \cdot 10^3)^2 \cdot \ln \frac{2 \cdot 50}{4} \cdot \frac{7,5 + \sqrt{7,5^2 + \left(\frac{4}{2}\right)^2}}{7,5 + \sqrt{7,5^2 + 4^2}} = 35,92 \text{ N}$$

Poloviční síla má hodnotu  $17,96$  N.

Pro výpočet síly mezi dvěma paralelními kontakty budu vycházet ze vzorce 5.50., ovšem využiji jeho modifikaci, která je uvedena v literatuře [6]. Síla mezi dvěma paralelními kontakty se pak vypočte:

$$F_p = 10^{-7} \cdot I^2 \cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{l-m}{a} \right)^2 + 1} - 1 \right] \quad (5.58.)$$

$$F_p = 10^{-7} \cdot (12 \cdot 10^3)^2 \cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{50-5}{10} \right)^2 + 1} - 1 \right] = 51,98 \text{ N}$$

Tato vypočtená síla má hodnotu 25,99 N. Rozdíl  $l - m$  charakterizuje vyjádření činné délky proudovodné dráhy a  $m = 5 \text{ mm}$ .

Nyní provedu součet jednotlivých sil:

$$F_c = (F_A - F_{uA}) + (F_B - F_{uB}) - F_D + F_p$$

$$F_c = (284 - 67,47) + (81 - 71,99) - 8,98 + 25,99 \quad (5.59.)$$

$$F_c = 216,53 + 9,01 - 8,98 + 25,99 = 242,55 \text{ N}$$

Z výpočtu je patrné, že celková přitlačná síla na kontakt je kladná. Z tohoto důvodu by měl kontakt odolat i z hlediska silového. Dodržení přitlačného tlaku je i v jednotlivých přitlačných místech A a B.

### 5.2.2. Kontrola na tepelné účinky

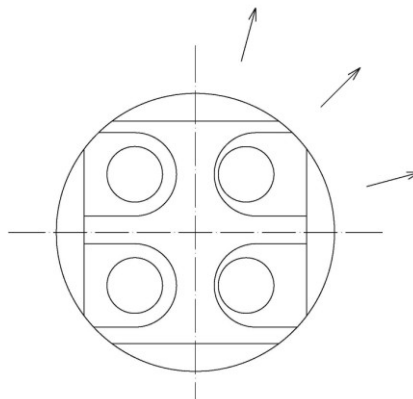
Pro tepelný výpočet kontaktního systému využiji principu tepelné sítě. Tato metoda spočívá v tom, že se nahradí jednotlivé části kontaktu jejich tepelnými odpory. Tím získám náhradní tepelnou síť kontaktu, která se řeší analogicky jako elektrické obvody a je složena z následujících prvků [6].:

- Dílce bezetrát konstantního průřezu, buď holé charakterizované součinitelem přestupu tepla, nebo izolované, kde se zjišťuje náhradní součinitel přestupu tepla.
- Tyče bezetrát proměnného průřezu. U tohoto dílce se průřez mění pozvolna.
- Tyče bezetrát z nichž se všechno teplo odvádí do okolí.
- Dílce se ztrátami konstantního průřezu.
- Dílce se ztrátami mírně se měnícího průřezu.
- Kovové těleso neurčitého tvaru.
- Kontakty.
- Tepelně dlouhá tyč, která se umísťuje na začátku a na konci schématu.

Vlastní výpočet oteplení kontaktního systému je založen na následujících předpokladech:

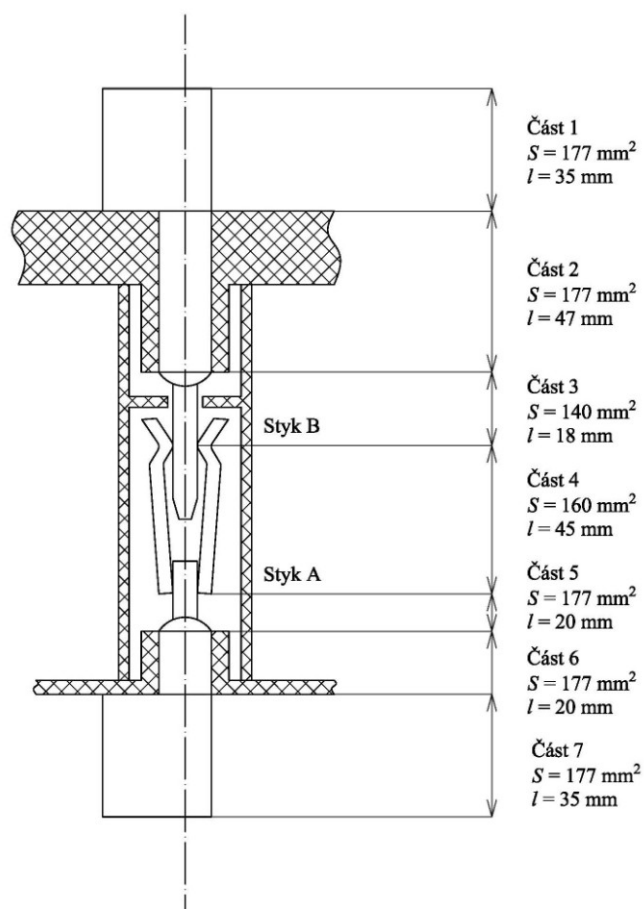
- Zanedbá se odvod tepla vedením v izolantu.
- Zanedbá se ztracený výkon v místě připojení kabelu, protože tlak, který vyvozují připojovací svorky, je dostatečně veliký a přechodový odpor je proto zanedbatelný.
- Zanedbá se změna odporu materiálu vlivem měnící se teploty podél kontaktu.

- Pro výpočet se uvažuje, že každý vodič se ochladí jednou čtvrtinou povrchu rychlospojky, jak je uvedeno na obrázku 5.8..



Obr. 5.8. - Uvažovaný odvod tepla jednou čtvrtinou povrchu.

Na následujícím obrázku 5.9. je uvedeno schematické sestavení řešeného kontaktu. Tento obrázek slouží pro snadnější pochopení sestaveného tepelného schématu. Obrázek 5.9. slouží pro výpočet tepelné sítě.



Obr. 5.9 - Schematické rozložení kontaktu.

Dále provedu výpočet jednotlivých částí kontaktního systému. Výpočet je zde naznačen jen okrajově především z důvodu jeho obtížnosti a časové náročnosti.

Pro výpočet je uvažováno dovolené oteplení 40 K a výchozí teplota 40 °C. Další parametry jsou čerpány z [5].

Výpočet měrného odporu mědi pro oteplení 40 K [5]:

$$\begin{aligned}\rho_{cu} &= \rho_{40} \cdot (1 + \alpha_{cu} \cdot \vartheta_D) = 1,92 \cdot 10^{-8} \cdot (1 + 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 40) \\ \rho_{cu} &= 2,196 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m\end{aligned}\quad (5.60.)$$

Nyní provedu výpočet první části kontaktu, který je tvořen připojovací svorkou a připojovacím praporcem. V těchto částech jsou rovněž dvě díry pro přitažení kabelu ve svorce. Díry mají průměr 8 mm.

Výpočet činitele zvýšení odporu otvorem a činitele skinefektu [5]:

$$a = b - \phi = 20 - 8 = 12 \text{ mm} \quad (5.61.)$$

$$\frac{a}{b} = \frac{12}{20} = 0,6 \quad (5.62.)$$

Na základě vypočtených hodnot jsou určeny z literatury [5] činitelé  $k_{01} = 1,4$  a  $k_s = 1,05$ . Pomocí těchto hodnot vypočtu odpor části 1 v jeho činné délce [5]:

$$\begin{aligned}R_{c1} &= \frac{\rho_{cu}}{S} [l + b \cdot (k_{01} + k_{01} - 2)] \cdot k_s \\ R_{c1} &= \frac{2,196 \cdot 10^{-8}}{177 \cdot 10^{-6}} [35 \cdot 10^{-3} + 20 \cdot 10^{-3} \cdot (1,4 + 1,4 - 2)] \cdot 1,05 = 6,77 \cdot 10^{-6} \Omega\end{aligned}\quad (5.63.)$$

Pro výpočet je nyní nutné určit chladihost radiací a chladihost konvekcí. Pro toto určení je opět využito literatury [5]. Kdy pro jednotlivé chladihosti lze psát:

$$\alpha_{r1} = 2,8 + 0,017 \cdot \vartheta_D = 2,8 + 0,017 \cdot 40 = 3,48 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (5.64.)$$

$$\alpha_{k1} = 6 + 0,09 \cdot \vartheta_D = 6 + 0,09 \cdot 40 = 9,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (5.65.)$$

Celková chladihost pak bude součtem chladihostí radiací a konvekcí:

$$\alpha_{c1} = \alpha_{r1} + \alpha_{k1} = 3,48 + 9,6 = 13,08 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad (5.66.)$$

Nyní je ještě potřeba určit výpočtovou velikost chladičího obvodu přiřazenému průřezu praporce na činné délce. Geometrický rozměr chladičího povrchu má hodnotu  $3,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ . Výpočet je proveden opět pomocí literatury [5]:

$$O_p = \frac{P_p}{l} = \frac{3,57 \cdot 10^{-3}}{0,035} = 0,102 \text{ m} \quad (5.67.)$$

Z těchto vypočtených hodnot jsem získal veličiny pro výpočet náhradního  $\pi$  – článku. Výpočet je proveden podle literatury [5].

$$\beta l = l \cdot \sqrt{\frac{\alpha_{cl} \cdot O_p}{\lambda_{cu} \cdot S_p}} = l \cdot \sqrt{\frac{13,08 \cdot 0,102}{385 \cdot 177 \cdot 10^{-6}}} = 0,15 \quad (5.68.)$$

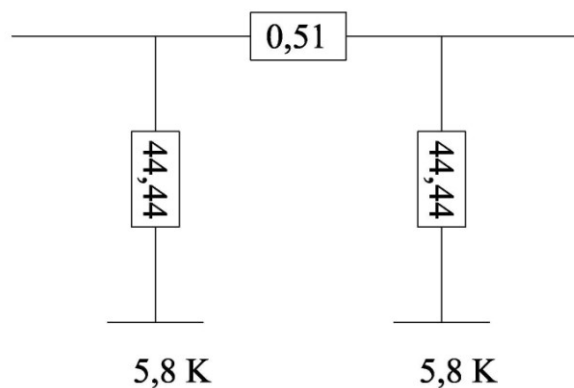
$$\delta = \sqrt{\alpha_{cl} \cdot O_p \cdot \lambda_{cu} \cdot S_p} = \sqrt{13,08 \cdot 0,102 \cdot 385 \cdot 177 \cdot 10^{-6}} = 0,3 \quad (5.69.)$$

$$R_{T1} = \frac{\sinh \beta l}{\delta} = \frac{\sinh 0,15}{0,3} = 0,51 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (5.70.)$$

$$R_{Tt} = \frac{1}{\delta \cdot \tanh \frac{\beta l}{2}} = \frac{1}{0,3 \cdot \tanh \frac{0,15}{2}} = 44,44 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad (5.71.)$$

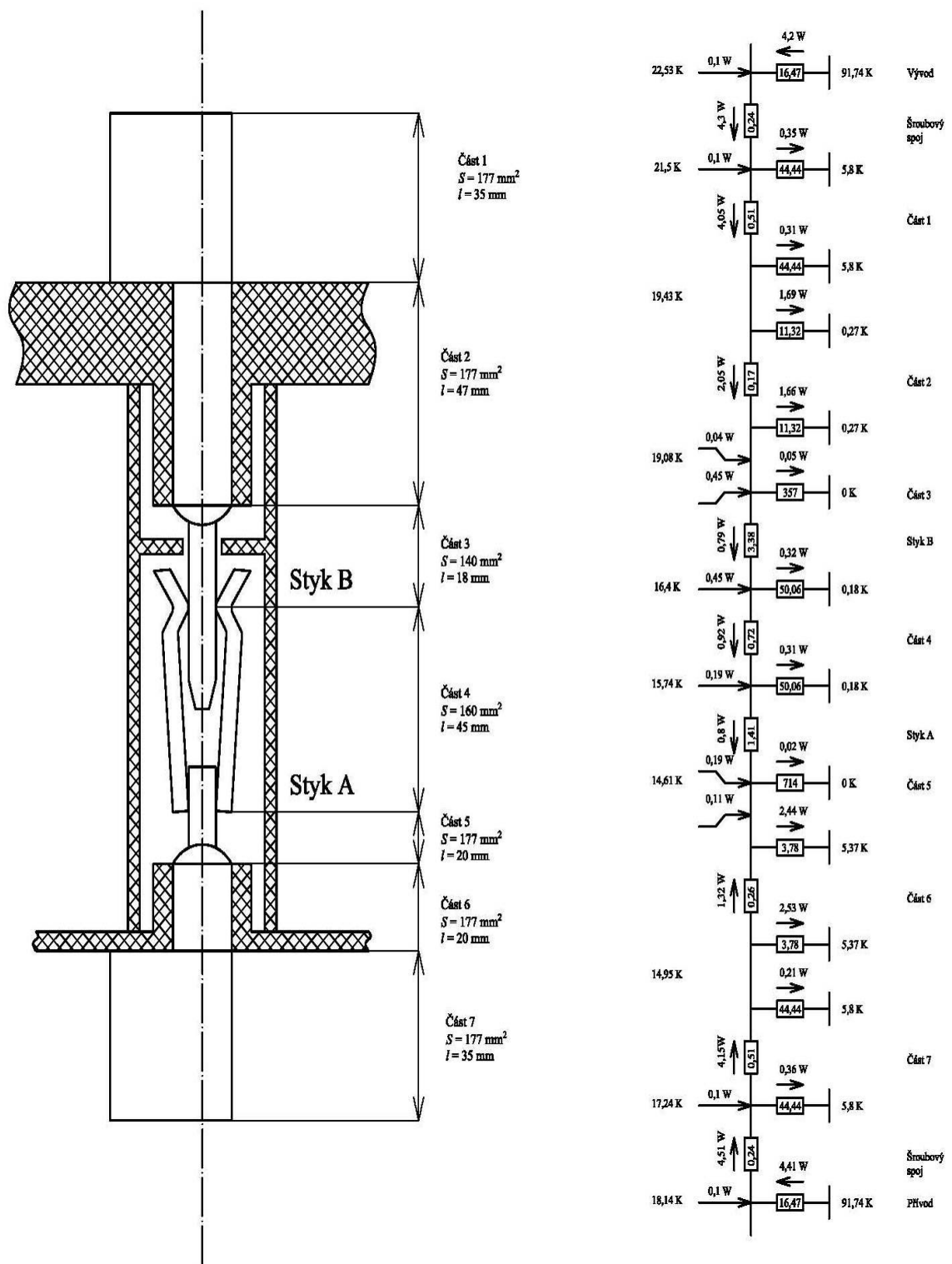
$$\vartheta_{\infty} = \frac{R_{cl} \cdot I^2}{\alpha_{cl} \cdot P_p} = \frac{6,77 \cdot 10^{-8} \cdot 200^2}{13,08 \cdot 3,57 \cdot 10^{-3}} = 5,8 \text{ K} \quad (5.72.)$$

Z těchto vypočtených veličin jsem sestavil náhradní schéma  $\pi$  – článku. Toto schéma je uvedeno na obrázku 5.10..



Obr. 5.10. - Náhradní  $\pi$  – článek.

Obdobným způsobem postupuji až do sestavení celkového tepelného schématu, které je složeno z jednotlivých dílčích schémat. Řešení provedu od jednoho konce k druhému, například horního konce ke spodnímu. Výpočet provedu pro dvě rozdílná oteplení. V mém případě jsem nejprve zvolil oteplení 30 K. Z uzlové podmínky vyplývá, že tok, který do jednotlivých uzlů přiteče, musí i odtéct, takto jsem postupnými výpočty vyřešil celé jednořadé tepelné schéma. Zjistil jsem, že do posledního uzlu přitéká tok 17,99 W. Obdobný výpočet byl proveden i pro druhou hodnotu, jejíž velikost byla zvolena 20 K. V tomto případě jsem zjistil, že z posledního uzlu jednořadého tepelného schématu vytéká 6,11 W.



Obr. 5. 11. – Vyřešené tepelné schéma.

Na obrázku 5.11. je vyřešeno tepelné schéma. Jednotlivé parametry a tepelné sítě jsou z něj jasné patrné. Jejich konkrétní hodnoty jsou uvedeny jen v tomto schématu z důvodu rozsahu výpočtů jednotlivých prvků.

Dříve vypočtené hodnoty tepelného toku pro oteplení 30 K, kdy přitéká 17,99 W a pro 20 K, kdy vytéká 6,11 W, poslouží pro výpočet správné vstupní velikosti oteplení. Výpočet jsem provedl pomocí vzorce z literatury [5]. Správná hodnota velikosti oteplení je uvedena ve vzorci 5.73., vyřešené schéma je na obrázku 5.11..

$$\vartheta_{c1} = \vartheta_1 - \frac{Q_1 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_2)}{Q_2 - Q_1} = 30 - \frac{17,99 \cdot (20 - 30)}{-6,11 - 17,99} = 22,53 \text{ K} \quad (5.73)$$

Výpočtem 5.73. v podstatě hledám správnou hodnotu oteplení, aby na začátku i na konci do uzlu vtékalo 0 W, což je provedeno i ve schématu 5.11..

Z výpočtu je patrné že hodnota oteplení je nižší než zvolené oteplení 40 K. To v mém případě nepůsobí problém, jelikož kontakty nejsou poddimenzovány, ale předdimenzovány. Pokud bych v řešení chtěl upravit jen jediný prvek, došlo by ke změně ve schématu a celé schéma by se muselo opět přepočítat. Výpočet jako takový není příliš složitý, ale z časového hlediska je velmi náročný, jelikož se jedná o iterační způsob výpočtu.

### 5.3. Návrh pomocných kontaktů

Jak již bylo v předchozím textu zmíněno, rychlospojky obsahují kromě hlavních kontaktů také kontakty pomocné, které plní funkci ovládací nebo blokovací. Kontakty se u rychlospojek uvažují pro trvalé zatížení 6 A. Jejich materiálová skladba je obdobná jako u kontaktů hlavních. Jsou tedy vyrobeny z tvrdé mědi a jsou postříbřeny. Při jejich návrhu budu vycházet z již existujících pomocných kontaktů rychlospojek.

Výpočet maximálního stykového odporu [1]:

$$R_s = \frac{0,5 \cdot U_{sm}}{I} = \frac{0,5 \cdot 0,12}{6} = 0,01 \text{ } \Omega \quad (5.74.)$$

Výpočet potřebné kontaktní síly, kdy hodnoty  $k$  a  $m$  jsou voleny podle [4]:

$$F = \left( \frac{k}{R_s} \right)^{\frac{1}{m}} = \left( \frac{1,1 \cdot 10^{-3}}{0,01} \right)^{\frac{1}{0,5}} = 0,0121 \text{ N} \quad (5.75.)$$

Z výpočtu 5.75 je patrné, že požadovaná síla je malá. Volím kontakty kruhového průřezu a přitlačná síla bude vyvozována pomocí pružiny, která bude obepínat kontaktní dutinku.



Výpočet průřezu pomocných kontaktů, přičemž zvolená proudová hustota  $J = 1,5 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$  [5]:

$$S = \frac{I}{J} = \frac{6}{1,5} = 4 \text{ mm}^2 \quad (5.76.)$$

Z mechanického hlediska budu uvažovat průřez  $6 \text{ mm}^2$  a v místě připojovacích svorek  $10 \text{ mm}^2$ . Pro připojení kabelu bude využita hlavičková svorka.

Při spojování se ovládací kontakty spojují až jako poslední. Nejprve dojde ke spojení ochranného kontaktu, poté hlavních a nakonec ovládacích kontaktů.

Délka kontaktů je patrná z přiloženého výkresu sestavy rychlospojky DP-PEC234-5 a z již existujících kontaktů. Tato délka je  $175 \text{ mm}$ .

Výpočet odporu tyče kontaktu [5]:

$$R_t = \rho \cdot \frac{l}{S} = 1,75 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{175 \cdot 10^{-3}}{\frac{\pi \cdot (6 \cdot 10^{-3})^2}{4}} = 1,08 \cdot 10^{-4} \Omega \quad (5.77.)$$

Výpočet celkového odporu [5]:

$$R_c = R_t + R_s = 1,08 \cdot 10^{-4} + 0,01 = 10,1 \cdot 10^{-3} \Omega \quad (5.78.)$$

Výpočet ztrát v pomocném kontaktu [5]:

$$\Delta P = R_c \cdot I^2 = 10,1 \cdot 10^{-3} \cdot 6^2 = 0,36 \text{ W} \quad (5.79.)$$

Z řešení vzorce 5.79. vyplývá, že ztráty procházejícím proudem přes pomocný kontakt jsou velmi malé a lze je tedy zanedbat. Hodnota ztrát o velikosti  $0,36 \text{ W}$  je vypočtena pro nejméně příznivý případ.

## 5.4. Návrh připojovacích svorek

Pro návrh připojovacích svorek budu uvažovat svorky, které se dnes u nevýbušných rychlospojek nejčastěji používají. Jedná se o plášťové svorky a jejich využití je vhodné z několika prostých důvodů.

Prvním důvodem je, že lze připojit kabel bez toho, aby se nemuselo používat připojovací oka. Dále je tento typ svorky vhodný z důvodu odvodu tepla. Jelikož má velkou vyzařovací plochu, odvede se jí značná část tepla z kontaktu. Pro vyvození dostatečné přitlačné síly jsou plášťové svorky přitlačovány ke kontaktu pomocí dvojice šroubů M8. Délka svorky byla v tomto případě zvolena na hodnotu  $35 \text{ mm}$ .

## 6. Celkové konstrukční řešení

### 6.1. Návrh izolačních prvků

Pro správný návrh musí být dle [32] dodrženy parametry vzdušných a povrchových vzdáleností dle tabulky 6.1..

Tab. 6.1. - Minimální povrchové cesty a vzdušné vzdálenosti [32].

Napětí	Minimální povrchová cesta (mm)				Min. vzd. vzdál. (mm)
	I	II	IIIa	IIIb	
250 V	3,2	3,6	4	4	2,5
500 V	6,3	7,1	8	8	5
1000 V	11		13	-	8

Při volbě materiálu vycházím z již používaných materiálů v rychlospojkách. Dle [32] a [20] se jedná o materiál skupiny IIIa. Pro upřesnění budu uvažovat dnes vyráběný bakelit typu Bakelit EPR 04572 [20], kdy minimální povrchová cesta je 13 mm a minimální vzdušná vzdálenost je 8 mm. Tyto vzdálenosti se nesmí zmenšit působením vnějších vlivů, jako je například mechanické působení nebo působení tepelné způsobené oteplením kontaktů.

Dále je nutné vycházet z požadavků podle literatury [32]. Pro návrh izolačních těles vycházím z již existujících rychlospojek, kdy se uvažuje mezi jednotlivými kontakty izolační komůrky a izolační přepážky, které po konstrukční stránce vyhovují požadavkům uváděným v tabulce 6.1.. Jednotlivá izolační tělesa jsou uvedena na výkresech DP-PEC234-2 až DP-PEC234-4.

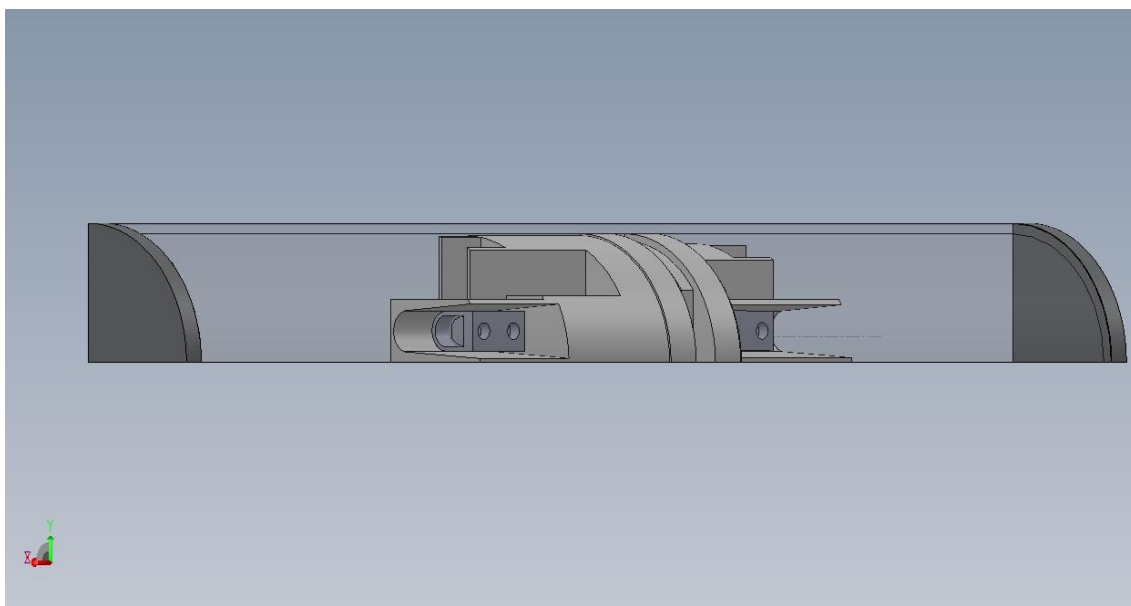
### 6.2. Řešení pláště a vývodek

I v tomto případě vycházím z již používaných rychlospojek. Uvažuji tedy, že rychlospojka je v nevýbušném provedení Exd pro použití v podzemí plynujících dolů se zařazením do skupiny I, kategorie M2. Plášť rychlospojky je tvořen bezešvou ocelovou trubicí. V této trubce jsou umístěna izolační tělesa s kontakty. K plášti jsou dále uchycena pomocná nosná ocelová tělesa, ke kterým jsou upevněny vývodky. Mezi ocelovými vývodkami a nosnými tělesy se nachází těsnící pryžový kroužek, který tvoří ucpávku pro kabel. Sestava rychlospojky je uvedena na přiloženém výkrese DP-PEC234-5. Tato kapitola je pouze informativní pro pochopení konstrukce rychlospojky, neboť účelem této diplomové práce je především návrh z hlediska elektrického, nikoliv návrh strojní, jenž je uvažován jen okrajově.

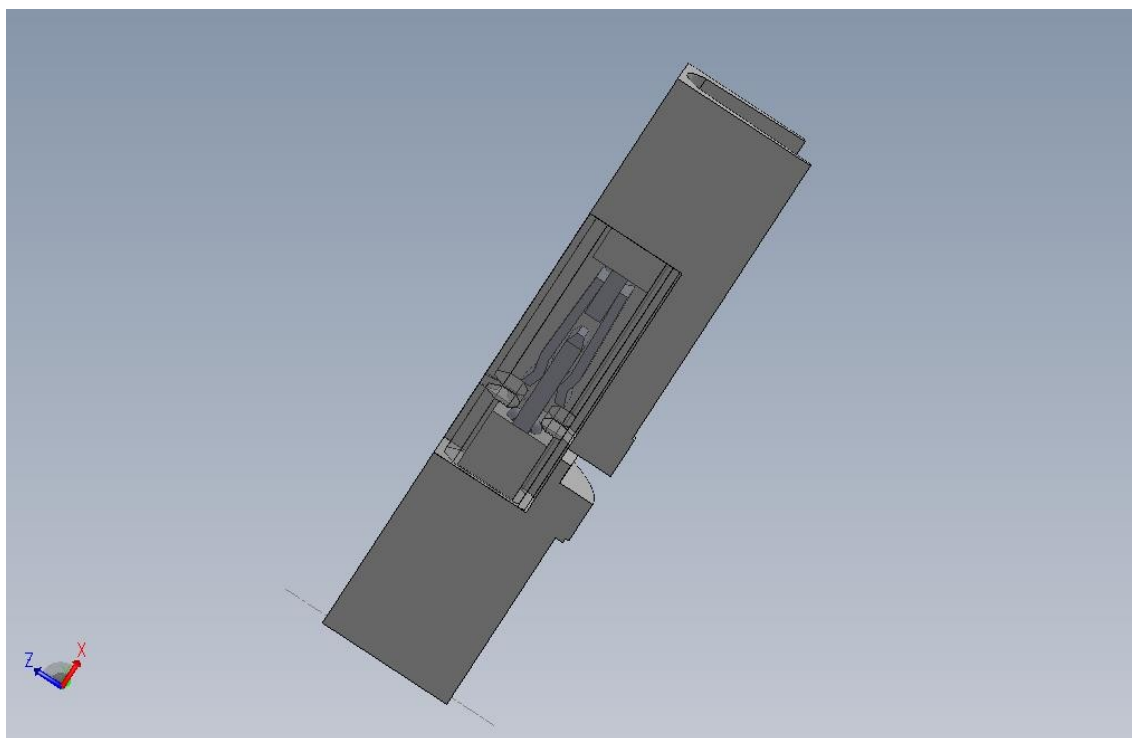
## 7. Model rychlospojky a řešení pomocí metody konečných prvků

### 7.1. Úvod

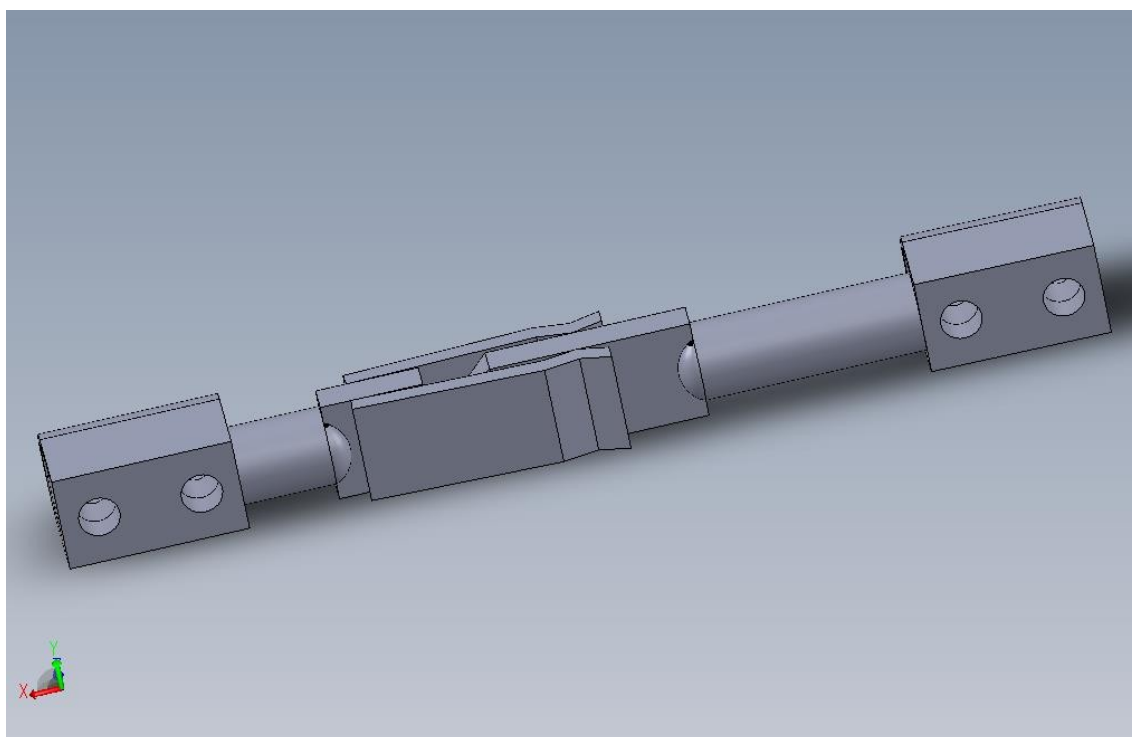
Pro řešení tohoto bodu diplomové práce je využito software SolidWorks 2013, kde je vytvořen model rychlospojky dle rozměrů uvedených na výkresech DP-PEC234-1 až DP-PEC234-5. Dále je model importován do software ANSYS Workbench 14.5 a zde je provedena analýza a samotné modelování. V této části je postupováno obdobně jako u výpočtu tepelného v tom smyslu, že se řeší pouze čtvrtina části rychlospojky. Vytvořený model je uveden na obrázcích 7.1., až 7.3..



*Obr. 7.1. – Čtvrtinový model rychlospojky.*



*Obr. 7.2. - Zjednodušený čtvrtinový model rychlospojky.*



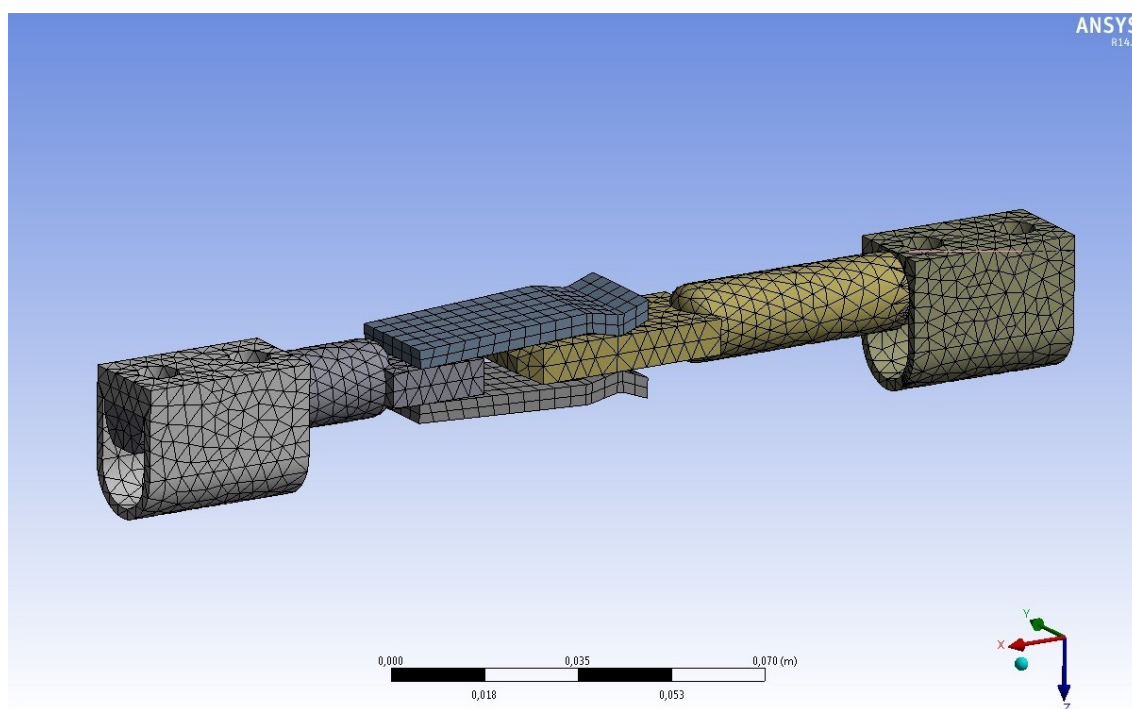
*Obr. 7.3. - Model kontaktu rychlospojky.*

Na obrázku 7.1. je uveden model jedné čtvrtiny rychlospojky, dále na obrázku 7.2. je pro lepší přehlednost zobrazen pohled z vnitřní části bez trubky. Na obrázku 7.3. je uvedena v podstatě nejdůležitější část a to jsou kontakty.

## 7.2. Modelování pomocí ANSYS Workbench

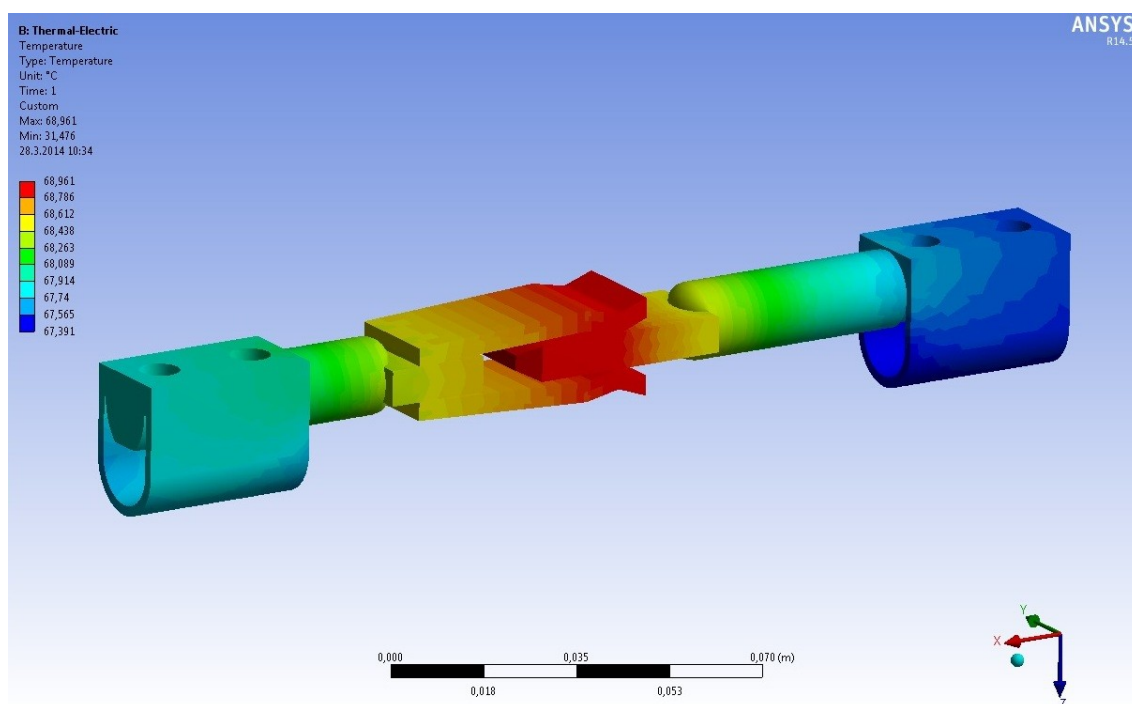
Jak již bylo zmíněno, vytvořený model byl dále importován do prostředí ANSYS Workbench, kde jsme řešili nejdůležitější část návrhu, a to tepelný výpočet realizovaný pomocí systému analýzy thermal electric. Dále bylo nutno zadat všechny potřebné parametry pro výpočet, jako například materiál, elektrickou a tepelnou vodivost a další. Parametry byly zvoleny v souladu s parametry použitými pro analytický výpočet, jenž je řešen v kapitole 5.

V neposlední řadě bylo nutno zadat vhodnou výpočetní síť pro analýzu. Vytvořená síť je uvedena na obrázku 7.4.. Proto, aby byly výsledky dobře viditelné, je na obrázku uveden jen kontaktní systém. Není zde uvedena celá čtvrtina rychlospojky, ale je s ní počítáno.

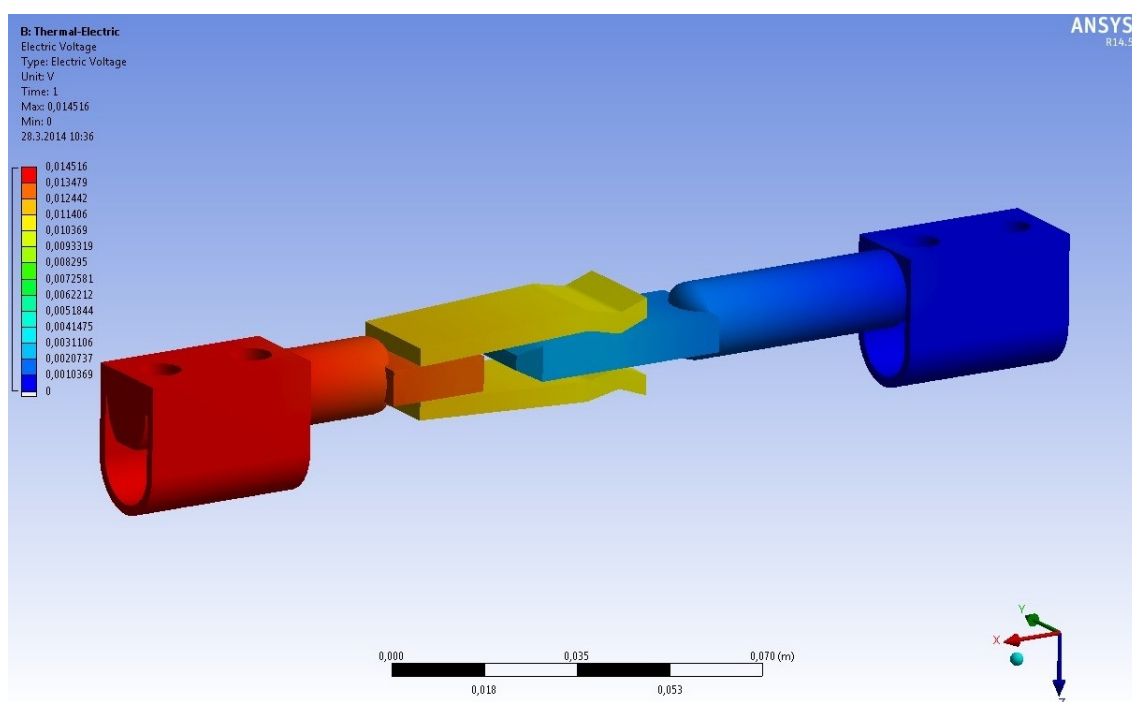


*Obr. 7.4.- Zobrazení výpočtové sítě.*

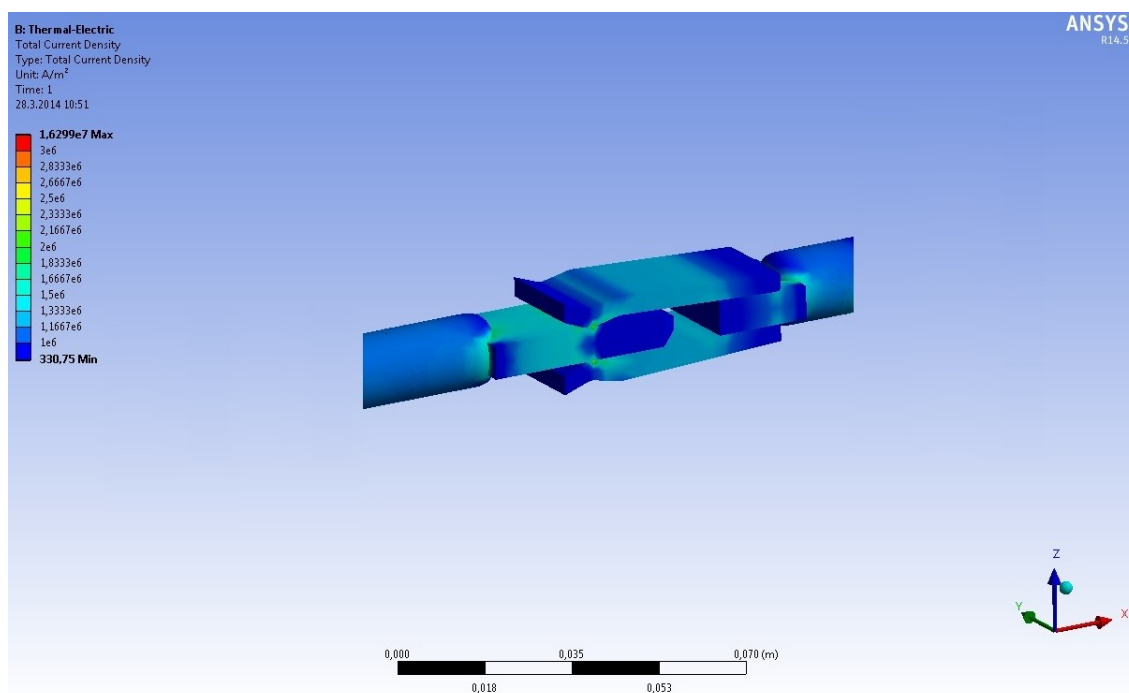
Zvolená výpočtová síť by měla být pro výpočet dostačující. V případě, že by dostačující nebyla, lze jednoduše zvýšit hustotu výpočetních bodů. Použitím uvedeného software jsme získali výsledné obrázky 7.5., až 7.7., kdy na obrázku 7.5. je zobrazeno rozložení teplot v jednotlivých místech kontaktního systému a obrázek 7.6. prezentuje rozložení úbytku napětí v kontaktním systému. Na obrázku 7.7. je vyobrazeno rozložení proudové hustoty v kontaktním systému.



Obr. 7.5. - Rozložení teplot v kontaktním systému.



Obr. 7.6. - Úbytky napětí v kontaktním systému.



Obr. 7.7. Rozložení proudové hustoty v kontaktu.

### 7.3. Zhodnocení modelu

Obrázek 7.5. je pro zhodnocení správnosti v podstatě nejdůležitější. Je zde barevně rozlišeno rozložení teplot kontaktního systému s tím, že uvažovaná počáteční teplota je 40 °C. Maximum oteplení nastává v kontaktním styku, kde se podle stupnice v levé části obrázku pohybujeme téměř u teploty 69 °C. Naopak v místě přípojovacích svorek je teplota nižší a má hodnotu přibližně 67,4 °C. Tato skutečnost s nejvyšší teplotou odpovídá i nabytým teoretickým poznatkům, že teplota v místě styku je nejvyšší. Teplo vzniklé v místě styku se dále šíří kontaktním systémem a je odvedeno kabelem.

Co se týče jednotlivého rozložení teplot, pak splňujeme uvažované oteplení o 40 °C, kdy máme ještě asi 11 °C rezervu. Jednotlivé rozložení teplot a jejich hodnota je z obrázku 7.5. a v něm uváděné stupnici zcela jasně patrná. V porovnání s výpočtem prováděným analyticky, se lišíme s maximálním oteplením přibližně o 7 °C. Ze zjištěných hodnot lze konstatovat, že v obou případech nedojde k překročení dovoleného oteplení nad stanovenou mez. Rozdíl může být způsoben zaokrouhlováním, volbou koeficientů a parametrů jak při výpočtu analytickém, tak při prováděném modelování a analýze pomocí software.

Abychom vůbec mohli tepelné pole řešit, bylo nutné připojit na začátek a na konec uvedeného tepelného schématu tepelně dlouhé tyče, které však vyvolaly rozdílnost v rozložení teplot. V modelu není s touto skutečností počítáno, a proto nejvyšší teplota nastává v místě styku B, oproti tepelnému schématu, kde nejvyšší teplota je na přípojovacích svorkách. Jelikož se zde jedná o výpočet tepelný, který patří k jednomu z nejsložitějších v technické praxi, můžeme výsledek tohoto modelování považovat za správný. Komplikovanost výpočtu spočívá už v samotné podstatě šíření tepla, kdy musíme uvažovat tři druhy šíření a ty mají svá specifika.

Na obrázku 7.6. je uvedeno rozložení úbytků napětí v modelovaném kontaktním systému. Dle obrázku a stupnice můžeme jednoduše odečíst, v jakých hodnotách se tento úbytek pohybuje. Pokud se podíváme na systém jako celek, tak od začátku po konec má úbytek napětí hodnotu přibližně 13,5 mV. Tento úbytek napětí nabývá přípustných hodnot, a proto můžeme výsledek modelu považovat za správný.

Na obrázku 7.7. je uvedeno rozložení proudové hustoty v kontaktním systému. Pokud se zaměříme na rozložení barev a jejich číselné hodnoty, které jsou uvedeny na stupnici vlevo, pak je možno konstatovat, že proudová hustota se pohybuje od  $1 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$  do  $2 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$ . Proudová hustota o hodnotě  $2 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$  se však vyskytuje jen u ostrých hran. Lze konstatovat, že proudová hustota v systému není větší než  $1,5 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$ , což je v relaci s uvažovanou proudovou hustotou o stejné velikosti v analytickém výpočtu této diplomové práce.



## 8. Závěr

V této diplomové práci je proveden návrh rychlospojky z pohledu elektrotechnika. Jak již bylo zmíněno, není zde uvedeno řešení, které by musel provést strojní inženýr. V práci vycházím z již používaných rychlospojek, což značně ulehčuje jak pochopení jejich funkce, tak samotný návrh zařízení, jelikož se nejedná o konstrukci kompletně nového přístroje, ale o modifikaci zaměřenou především na oblast kontaktního systému.

První kapitoly práce (2., 3.) jsou věnovány teoretickým základům, které musí mít konstruktér na mysli při návrhu zařízení do tak specifického prostředí jako je hlubinný důl. Teoretické poznatky by měly být prvním konstrukčním uzlem pro návrh elektrického zařízení do prostředí s nebezpečím výbuchu.

V dalších částech práce (kapitola 4.) je pozornost věnována samotnému zařízení rychlospojky, kdy pro bližší pochopení probírané problematiky je uvedena její funkce i popis, včetně obrázků. V této kapitole jsou rovněž zmíněny parametry vyráběných rychlospojek.

Následující kapitoly (5., 6.) se již věnují samotnému návrhu. Při výpočtu jsem se zaměřil především na parametry a prvky, které jsou stěžejní pro řešení problému z elektrického hlediska. Nejvíce jsem se tedy zabýval kontaktním systémem hlavních kontaktů. Zprvu jsem navrhl předběžné rozměry kontaktů. Dále bylo pro ověření správnosti nutné zjistit zkratový proud pro modelovou situaci. Z těchto dvou skutečností jsem již mohl provést výpočet stykových odporů a požadované velikosti přitlačné síly. Odtud se odvíjel návrh přitlačných talířových pružin kontaktního systému.

Po navržení celého systému byla provedena jeho kontrola. Za prvé se musely ověřit silové účinky zkratového proudu, které vznikají při poruše. Uvažovaný zkratový proud byl 12 kA a dle provedených výpočtů, navržený kontaktní systém tomuto požadovanému zkratovému proudu bezpečně odolá. Dalším kontrolním bodem byl výpočet tepelných poměrů. Zde se jednalo o velice časově náročný postup, kdy celý kontakt byl rozdělen na 7 částí proto, abych mohl sestavit jednořadé tepelné schéma. Řešením schématu jsem dostal hodnotu maximálního oteplení, které by nemělo přesáhnout 22,53 K. Uvedená hodnota je vyhovující vzhledem k tomu, že uvažované maximální oteplení bylo 40 K. Ovšem pro kontrolu tohoto důležitého výpočtu, bylo provedeno namodelování rychlospojky (kapitola 7.) a její analýza pomocí software. Zjistil jsem, že největší oteplení nastává v místě, kde dochází ke styku zásuvky a vidlice. Zde se hodnota oteplení rovná přibližně 29 K. V obou popisovaných případech se sice jedná o rozdíl 7 K, a navíc je zde jiné místo s maximálním oteplením, ovšem model řešený pomocí software je počítán jinak, než jednořadé tepelné schéma. Co je hlavní skutečností, že ani v jednom případě nedošlo k překročení stanoveného oteplení. Pokud bych chtěl tepelné poměry znát exaktně, bylo by nutné využít termočlánky a následně provést měření. Pro účely této diplomové práce jsou dosažené výsledky dostačující.

Vzhledem k tomu, že je především kladen důraz na bezpečnost zařízení, pak při volbě rozměrů, parametrů a z toho vyplývajících výpočtů u rychlospojky, bylo postupováno takovým způsobem, aby zařízení bylo raději předimenzováno, než aby se jeho technické parametry pohybovaly na hranici funkčnosti.

K výpočtům uvedeným v této práci jsou rovněž přiloženy výkresy, kde jsou zobrazeny jednotlivé části izolační soustavy, výkres kontaktů a celkový výkres sestavy.

Na úplný závěr je vhodné říci, že předložená diplomová práce podává ucelený přehled o problematice rychlospojek pro důlní prostředí s nebezpečím výbuchu. Osobně považuji za velmi přínosné propojení teoretických poznatků s prostředím a problematikou praxe, neboť z pohledu elektrotechnika je nezbytné obě tyto oblasti znát.

Za velké pozitivum považuji vlastní zkušenost s tímto zařízením při mé praxi ve společnosti OKD, a.s., kde jsem měl možnost toto zařízení nejen vidět, ale v podmínkách důlního provozu s ním i pracovat.

Věřím, že předložená diplomová práce přispěje k prohloubení poznatků o rychlospojkách nejen z teoretického hlediska, ale především, že bude možné výsledky této práce aplikovat v technické praxi.

## 9. Použitá literatura

### Tištěné zdroje:

- [1] BUĽ B. K.: *Elektrické přístroje: základy teorie*, 1. vydání. Praha: SNTL, 1977, 538 s..
- [2] ČERNOCH S. a kol.: *Strojně technická příručka*, 13. upravené vydání. Praha: SNTL, 1977, 1294 s.. ISBN 80-7078-856-9
- [3] HAVELKA O.: *Elektrické přístroje*. Praha: SNTL/ALFA, 1985, 436 s..
- [4] HAVELKA O.: *Elektrické přístroje I*, 1. vydání. Praha: SNTL, 1974, 318 s..
- [5] HAVELKA O.: *Podklady a příklady pro navrhování elektrických přístrojů*, 1. vydání. Brno: Ediční středisko VUT, 1985, 188 s..
- [6] HAVELKA O.: *Stavba elektrických přístrojů I*, 1. vydání. Brno: Ediční středisko VUT, 1974, 264 s..
- [7] KRÁL J.: *Technologie výroby elektrických přístrojů*, 1. vydání. Brno: Ediční středisko VUT, 1978, 195 s..
- [8] MEDVEC Z.: *Přechodné jevy v elektrizačních soustavách: návody do cvičení*, 1. vydání. Ostrava: VŠB - TUO, 2001, 73 s.. ISBN 80-7078-856-9
- [9] Nařízení vlády č. 23/2003 Sb, kterým se stanovují technické požadavky na zařízení a ochranné systémy v prostředí s nebezpečím výbuchu: *Sbírka zákonů*. 11.2. 2003.
- [10] Q - ELEKTRIK: *IT3SB – Q Transformační stanice*. Ostrava: Q - ELEKTRIK, 2013, 2 s..
- [11] POHLUDKA J., HRUBÝ J.: *Elektrická zařízení v prostorách s nebezpečím výbuchu hořlavých plynů, par a prachů*, 2. aktualizované vydání. Praha: IN-EL, 2013, 238 s. ISBN 978-80-862-30-87-0
- [12] ZAM – SERVIS, s.r.o.: *Návod k obsluze – nevýbušná kabelová rychlospojka typ NKR 1000/160..* Ostrava: ZAM – SERVIS, 2007, 6 s.

**Internetové zdroje:**

- [13] AUTOMA: *Elektrická zařízení v prostředí nebezpečím výbuchu*. [online]. 2001. [cit. 12 – 12 – 2013]. Dostupné z WWW:  
<[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=33418](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33418)>
- [14] DAG – TS, s.r.o.: *Názvosloví*. [online]. Bosyně, 2011. [cit. 3 – 12 – 2013]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.dag-ts.cz/cz/nazvoslovi/>>
- [15] DODUCO: *Contact Materials and Semifinished Product: Silver Based Contact Materials*. [online]. Pforzheim. [cit. 25 – 2 – 2014]. Dostupné z WWW:  
<[http://www.amidoduco.ru/media/34458/kontaktteile\\_silber\\_basis\\_\\_e\\_\\_10-08-2011.pdf](http://www.amidoduco.ru/media/34458/kontaktteile_silber_basis__e__10-08-2011.pdf)>
- [16] HANSEN – ELECTRIC, s.r.o.: *Spínací soupravy: Krabice odbočná nevýbušná EZKO1*. [online]. Opava. [cit. 18 – 12 – 2013]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.hansen-electric.cz/spinaci-soupravy?download=28>>
- [17] ND STYL, s.r.o.: *Pružiny: Taliřové pružiny*. [online]. Ostrava, 2012. [cit. 3 – 3 – 2014]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.ndstyl.cz/docs/talirove-pruziny.pdf>>
- [18] POWERWIKI: *Průmyslová elektrotechnika: Cvičení 3*. [online]. Praha, 2013. [cit. 27 – 2 – 2014]. Dostupné z WWW:  
<[http://www.powerwiki.cz/attach/PEL/cviceni\\_2.pdf](http://www.powerwiki.cz/attach/PEL/cviceni_2.pdf)>
- [19] SPRÁVNÝ SMĚR: *Výstupy projektu: Mechanika II SSUP Opava*. [online]. Ostrava, 2009. [cit. 2 – 3 – 2014]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.spravny smer.cz/web/file.php?id=179>>
- [20] SWISS COPOSITE: *Epoxyde: Technical data sheets: Epoxyd – Harz Hexion EPR04572*. [online]. Suter Kunststoffe. [cit. 18 – 3 – 2014]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.swiss-composite.ch/pdf/t-Hexion-EPR04572-EPH-EPC-EPC865-e.pdf>>
- [21] TF KABLE: *Produkty: Kable i Przewody w izolacji gumowej: Przewody ikable górnicze ekranowane Silver*. [online]. Krakov, 2014. [cit. 27 – 2 – 2014]. Dostupné z WWW:  
<<http://www.tfkable.com/sites/default/files/katgor.>>
- [22] TYCO ELECTRONIC CZECH, s.r.o.: *Katalogy: Silnoproud: Kabelové soubory pro doly*. [online]. 2009. [cit. 18 – 12 – 2013]. Dostupné z WWW:  
<[http://tycoelectronics.cz/Energy/Catalogues/EPP\\_1486\\_CZ\\_1107/EPP\\_0991\\_CZ\\_09.pdf](http://tycoelectronics.cz/Energy/Catalogues/EPP_1486_CZ_1107/EPP_0991_CZ_09.pdf)>

- [23] VŠB – FEI: *Rozvody elektrické energie v dolech a lomech*. [online]. Ostrava, 2009. [cit. 27 – 2 – 2014]. Dostupné z WWW:  
<[http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/rozvody\\_lomy/11\\_rozvody\\_lomy.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/rozvody_lomy/11_rozvody_lomy.pdf)>
- [24] VŠB – FEI: *Rozvody elektrické energie v prostorech s nebezpečím výbuchu*. [online]. Ostrava, 2009. [cit. 11 – 12 – 2013]. Dostupné z WWW:  
<[http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/rozvody\\_lomy/08\\_nebezpeci\\_vybuchu.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/rozvody_lomy/08_nebezpeci_vybuchu.pdf)>
- [25] ZAM – SERVIS, s.r.o.: *Produkty: Spojky, vidlice, zásuvky: NKR 1000/160*. [online]. Ostrava. [cit. 19 – 12 – 2013]. Dostupné z WWW:  
<[http://www.zam.cz/KATALOG\\_DULNI/CZ/NKR1000-160\\_360\\_CZ\\_V131231.pdf](http://www.zam.cz/KATALOG_DULNI/CZ/NKR1000-160_360_CZ_V131231.pdf)>

### Normy:

- [26] Norma ČSN 02 6060. *Talířové pružiny. Základní pojmy a výpočet*. Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1.5. 1978.
- [27] Norma ČSN EN 60079 – 1 ed.2.. *Výbušné atmosféry – Část 1: Ochrana zařízení pevným závěrem „d“*. Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1.3. 2008.
- [28] Norma ČSN EN 60079 – 2 ed.2.. *Výbušné atmosféry – Část 2: Ochrana zařízení závěrem s vnitřním přetlakem „p“*. Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1.7. 2008.
- [29] Norma ČSN EN 60079 – 5. *Výbušné atmosféry – Část 5: Ochrana zařízení pískovým závěrem „q“*. Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1.7. 2008.
- [30] Norma ČSN EN 60079 – 6. *Výbušné atmosféry – Část 6: Zařízení chráněné olejovým závěrem „o“*. Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1.1. 2008.
- [31] Norma ČSN EN 60079 – 7 ed.2.. *Výbušné atmosféry – Část 7: Ochrana zařízení zajištěným provedením „e“*. Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1.7. 2007.
- [32] Norma ČSN EN 60079 – 15 ed.3.. *Výbušné atmosféry – Část 15: Zařízení chráněné typem ochrany „n“*. Praha. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 1.12. 2010.

## 10. Seznam příloh

Příloha č. 1	Odsouhlasení téma zadání diplomové práce společností OKD, a.s.
Příloha č. 2	Výkres č. DP-PEC234-01.
Příloha č. 3	Výkres č. DP-PEC234-02.
Příloha č. 4	Výkres č. DP-PEC234-03.
Příloha č. 5	Výkres č. DP-PEC234-04.
Příloha č. 6	Výkres č. DP-PEC234-05.
Příloha č. 7	Kusovník.